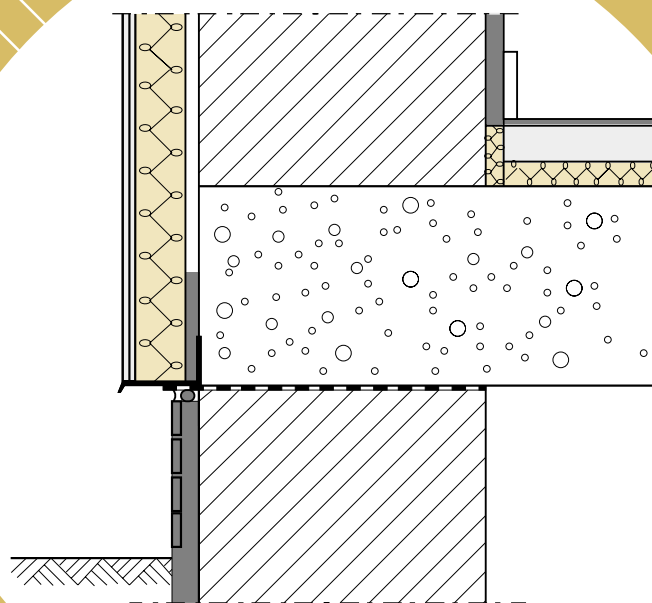
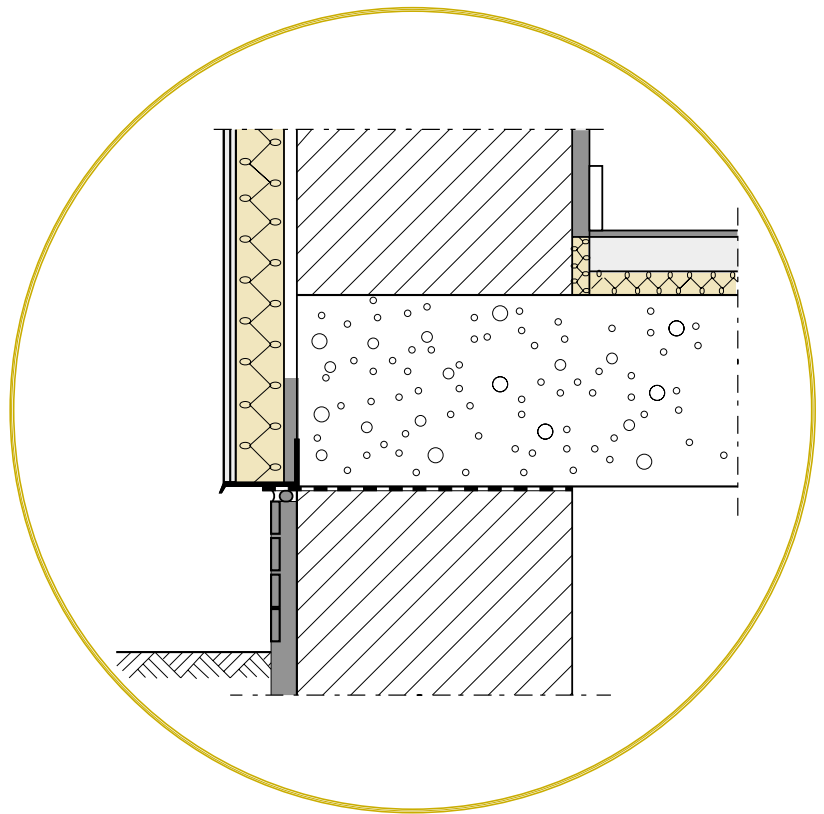


ISOLATION THERMIQUE DES MURS PLEINS



1 9 9 8

ISOLATION THERMIQUE DES MURS PLEINS



Edition 1998

Table des matières

1. Introduction	5	4.3.8. Remontées capillaires	24	8. Qualité de l'exécution	38
1.1. Le confort	5	4.4. Le mur plein isolé par l'intérieur	25	8.1. Généralités	38
1.2. Que représentent les murs de façade dans l'ensemble des déperditions au travers de l'enveloppe du bâtiment ?	6	4.4.1. Etanchéité à l'eau de pluie	25	8.2. Isolation par l'intérieur	38
2. Les différents types de murs pleins	7	4.4.2. Niveau d'isolation thermique	25	8.2.1. Pose par collage	38
2.1. Mur plein traditionnel	7	4.4.3. Composition du mur plein et comportement thermique du bâtiment	25	8.2.2. Pose sur lattes	39
2.2. Mur monolithique récent	8	4.4.4. Risque de condensation superficielle	26	8.3. Isolation par l'extérieur	40
2.3. Mur plein isolé par l'intérieur	8	4.4.5. Ponts thermiques	26	8.3.1. Préparation du support	40
2.4. Mur plein isolé par l'extérieur	9	4.4.6. Risque de condensation interne	27	8.3.2. Pose des panneaux isolants	40
3. Caractéristiques des matériaux	11	4.4.7. Humidité de construction	27	8.3.3. Réalisation de l'enduit de parement	41
3.1. Maçonneries, éléments porteurs et enduits	11	4.4.8. Remontées capillaires	27	8.3.4. Bardage	41
3.2. Matériaux isolants	13	4.5. Le mur plein isolé par l'extérieur	27	9. Quelques détails d'exécution	42
4. Comportement hygrothermique des murs pleins	16	4.5.1. Etanchéité à l'eau de pluie	27	9.1. Isolation thermique et problème d'humidité en pied de façade	42
4.1. Généralités	16	4.5.2. Niveau d'isolation thermique	28	9.1.1. Murs monolithiques récents	42
4.2. Le mur plein traditionnel	19	4.5.3. Composition du mur plein et comportement thermique du bâtiment	28	9.1.2. Mur plein isolé par l'intérieur	43
4.2.1. Etanchéité à l'eau de pluie	19	4.5.4. Risque de condensation superficielle	28	9.1.3. Mur plein isolé par l'extérieur	43
4.2.2. Niveau d'isolation thermique	20	4.5.5. Ponts thermiques	28	9.2. Retour de baie	44
4.2.3. Composition du mur plein et comportement thermique du bâtiment	20	4.5.6. Risque de condensation interne	29	9.2.1. Isolation par l'intérieur	44
4.2.4. Risque de condensation superficielle	21	4.5.7. Humidité de construction	29	9.2.2. Isolation par l'extérieur	44
4.2.5. Présence de ponts thermiques	21	4.5.8. Remontées capillaires	29	9.3. Seuils de fenêtre	45
4.2.6. Risque de condensation interne	21	5. Traitement des parement extérieurs	30	9.3.1. Isolation par l'intérieur	45
4.2.7. Humidité de construction	21	5.1. Mise en peinture	30	9.3.2. Isolation par l'extérieur	45
4.2.8. Remontées capillaires	21	5.2. Hydrofugation	30	9.4. Linteaux de baies	46
4.3. Le mur monolithique récent	22	5.3. Enduits extérieurs	30	9.5. Rives de toiture	46
4.3.1. Etanchéité à l'eau de pluie	22	5.4. Bardages	31	9.5.1. Isolation par l'intérieur	46
4.3.2. Niveau d'isolation thermique	22	6. Règlement thermique	32	9.5.2. Isolation par l'extérieur	47
4.3.3. Composition du mur plein et comportement thermique du bâtiment	23	7. Comment atteindre les performances thermiques?	34	9.6. Balcons	47
4.3.4. Risque de condensation superficielle	24			9.7. Construction en encorbellement	49
4.3.5. Présence de ponts thermiques	24			9.7.1. Isolation par l'intérieur	49
4.3.6. Risque de condensation interne	24			9.7.2. Isolation par l'extérieur	49
4.3.7. Humidité de construction	24			9.8. Joints de mouvement	50
				10. Conclusion	51
				Bibliographie	53

Cette brochure s'adresse en priorité aux techniciens du bâtiment, aux dessinateurs et aux particuliers désireux d'établir un dialogue avec un entrepreneur ou un architecte.

Elle concerne uniquement l'isolation thermique des murs pleins dans le cadre d'une habitation unifamiliale, tant en construction neuve qu'en rénovation.

Introduction

L'énergie est un problème crucial :

- La Wallonie ne produit que 2 % de l'énergie qui lui est nécessaire;
- Les réserves énergétiques mondiales s'épuisent lentement;
- La pollution atmosphérique s'accroît et le CO₂ amplifie l'effet de serre.

Il devient urgent d'économiser davantage l'énergie.

Economie et confort, deux données conciliables ?

Nous voulons tous une habitation confortable, un petit nid douillet où il fait bon vivre, mais nous voulons aussi réduire notre facture énergétique...

Le confort sans gaspillage, c'est possible grâce à une isolation thermique performante.

Une maison bien isolée ? Une maison où il fait bon vivre !

Une maison plus saine où l'on se sent mieux. Sans courants d'air intempestifs, sans humidité, sans coups de froid.

Une maison bien isolée ? Une maison économe en énergie !

Dans une maison bien isolée un même confort peut être atteint pour une température de l'air légèrement plus faible ce qui permet une réduction des pertes par ventilation. De plus une meilleure isolation augmente l'effet utile des gains solaires et des gains internes (éclairage, appareils électroménagers ...), elle permet d'écourter la saison de chauffe, de réduire la puissance de l'installation en un mot de diminuer la consommation.

Beaucoup d'énergie se perd par les parois extérieures de l'habitation (toiture, fenêtres, sol, ...), surtout lorsqu'elles sont peu ou non isolées.

1.1. Le confort

En préconisant un niveau d'isolation thermique plus performant de nos bâtiments, la réglementation tend également à en améliorer le confort.

En effet, la température de confort à l'intérieur d'un local n'est autre que la moyenne entre la température de l'air et celle des parois environnantes. Or, il est bien connu que plus le niveau d'isolation thermique d'une paroi est élevé, plus la température de surface de cette dernière sera proche de celle de l'air ambiant.

Par conséquent, mieux l'enveloppe du bâtiment est isolée thermiquement, plus le confort peut être atteint facilement pour une température d'air plus faible.

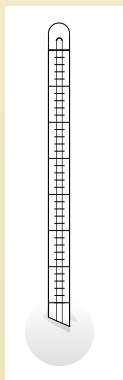


Figure 1.

La température de confort (température résultante sèche) peut être mesurée au moyen d'un thermomètre ordinaire dont le réservoir de mercure est placé au centre d'une sphère creuse à paroi mince (balle de ping-pong, par exemple).

Ou encore : un même confort peut être obtenu en chauffant moins l'air, en raccourcissant la période de chauffe, en réduisant la puissance de l'installation de chauffage; bref, en faisant des économies.

Le règlement thermique a également pris en considération la qualité de l'air de nos logements, qui fait trop souvent l'objet d'un amalgame avec ce que certains appellent une "sur-isolation".

En imposant des dispositions propres à la ventilation des bâtiments, la Région Wallonne a clairement voulu dissocier la notion de qualité d'air de celle de l'isolation thermique; et ce, même si ces deux paramètres ont des répercussions sur le confort.

Une bonne isolation thermique + une ventilation performante = diminution des déperditions de chaleur sans risque de condensation et de moisissures + une meilleure qualité de l'air ambiant.

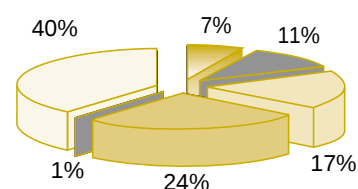
1.2. Que représentent les murs de façade dans l'ensemble des déperditions au travers de l'enveloppe du bâtiment ?

Une étude réalisée en Flandre, et portant sur 200 logements récents isolés thermiquement (*) montre, qu'avec les fenêtres, les murs de façade se taillent la part la plus importante des déperditions calorifiques de nos bâtiments.

Il ressort de cette étude que, si les façades représentent encore une source importante de déperdition, c'est, d'une part, parce que les surfaces qu'elles représentent sont significatives et, d'autre part, parce que nous n'avons pas encore l'habitude de prévoir des épaisseurs d'isolant permettant d'atteindre un niveau d'isolation réellement performant.

(*) L'enquête SENVIV "Aspects energetiques des nouvelles constructions en Flandre : isolation, ventilation, chauffage" a été réalisée dans le cadre d'un programme subside par IWT-VLIET.

Immeubles d'appartements



Maisons individuelles

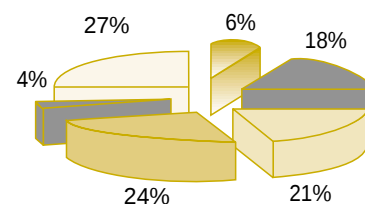
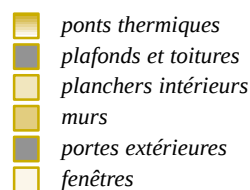


Figure 2 - Participation (%) des différentes parois dans l'obtention du niveau d'isolation global K.



Les différents types de murs pleins

Les murs pleins envisagés dans le présent document sont constitués par une maçonnerie monolithique et remplissent la fonction de mur de façade et/ou de mur mitoyen.

Il y a lieu par ailleurs de faire une distinction entre les murs pleins traditionnels et les murs monolithiques plus récents offrant un meilleur niveau d'isolation thermique que les précédents.

Enfin, les performances thermiques des deux types de mur envisagés ci-avant peuvent ou doivent être améliorées par l'apport d'une isolation thermique posée soit du côté intérieur, soit du côté extérieur du mur existant.

2.1. Mur plein traditionnel (voir figures 3 et 4)

Ces murs de façade se composent le plus souvent de l'intérieur vers l'extérieur :

- d'un enduit mural à base de chaux et/ou de plâtre de * 1,5 cm d'épaisseur;
- d'une maçonnerie d'une brique ou d'une brique et demi d'épaisseur (19 ou 29 cm) constituée d'éléments de petit module, comme les briques pleines en terre cuite. Pour des constructions plus anciennes et/ou situées dans certaines régions du pays, les briques peuvent être remplacées par des moellons de pierre naturelle; dans ce cas, l'épaisseur des murs est fréquemment supérieure à celle des maçonneries de briques;
- d'un revêtement extérieur éventuel constitué par un enduit à base de chaux ou de ciment (épaisseur * 2 cm) ou encore par un bardage (ardoises naturelles ou artificielles, ...).

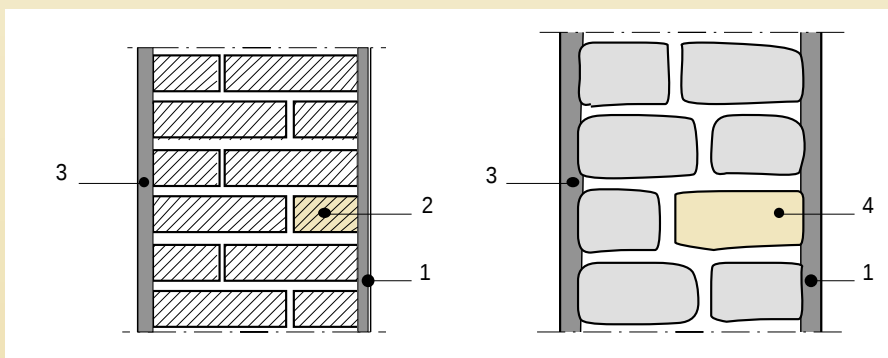


Figure 3 - Mur plein en briques

1. enduit intérieur
2. maçonnerie de briques
3. enduit extérieur facultatif
4. maçonnerie de moellons

Figure 4 - Mur plein en pierres

2.2. Mur monolithique récent (voir figure 5)

Les murs de façade de ce type se composent généralement de la manière suivante de l'intérieur vers l'extérieur :

- finition intérieure éventuelle constituée en fonction des tolérances dimensionnelles sur les matériaux et l'exécution, d'un enduit mince (quelques mm d'épaisseur) ou d'un enduit à base de chaux et/ou de plâtre de * 1,5 cm d'épaisseur;
- une maçonnerie composée de blocs de construction de grand format en terre cuite allégée, en béton de granulats d'argile expansée ou encore de béton cellulaire, de 19, 29 ou 39 cm d'épaisseur, maçonnés ou collés entre eux;
- une protection extérieure sous forme d'enduit minéral (± 2 cm d'épaisseur) ou résineux ou encore de bardages en bois, en fibro-ciment, en matière plastique, ...

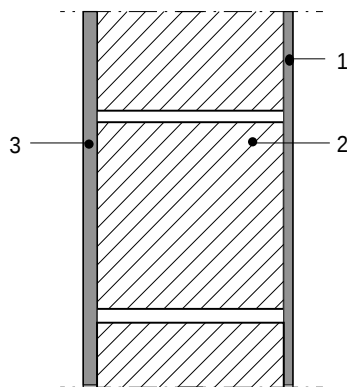


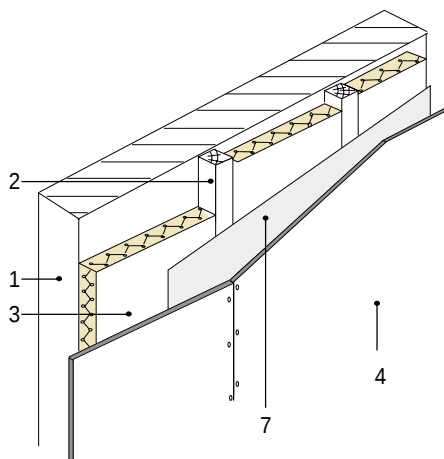
Figure 5 - Mur plein en blocs de grand format

1. finition intérieure
2. maçonnerie en blocs légers
3. finition extérieure

2.3. Mur plein isolé par l'intérieur

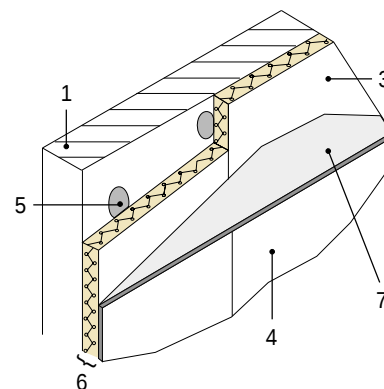
Afin d'améliorer essentiellement les performances thermiques des murs pleins traditionnels et même des murs monolithiques plus récents, il est possible de rapporter une isolation thermique à la face intérieure du mur.

Cette isolation complémentaire peut être rapportée entre des lattes permettant la fixation d'une finition (figure 6) ou encore être constituée de panneaux industrialisés (voir figure 7).



1. maçonnerie monolithique
2. lattes ou profilés métalliques
3. isolant thermique
4. panneau de finition

Figure 6 - Isolation par l'intérieur entre lattes



5. plots de colle
6. panneau "sandwich" (isolant + panneau de finition)
7. pare-vapeur éventuel

Figure 7 - Isolation par l'intérieur. Matériaux industrialisés

2.4. Mur plein isolé par l'extérieur

Tout comme il est possible d'améliorer les performances thermiques du mur plein en l'isolant par l'intérieur, on peut envisager de les augmenter grâce à une isolation rapportée par l'extérieur.

Cette technique consiste généralement à appliquer une couche d'isolation thermique et à poser un revêtement assurant à la fois la finition et la protection contre les sollicitations climatiques et mécaniques. On retient essentiellement cinq systèmes :

■ L'enduit isolant :

Ce système comprend :

- une sous-couche isolante constituée par un mortier composé de granulés de polystyrène expansé et/ou de perlite et d'un liant du type ciment;
- une couche de finition le plus souvent à base de liant hydraulique (cimentage).

■ Les panneaux d'isolation revêtus d'un enduit (voir figure 8) :

Ce système est constitué :

- de panneaux de polystyrène, de laine minérale, de verre cellulaire ou de polyuréthane collés et/ou fixés mécaniquement au support;
- d'un enduit de finition résineux ou minéral, armé d'un treillis synthétique ou métallique.

■ Les panneaux d'isolation complétés par une structure supportant l'enduit :

- Cette technique se rapproche de la précédente, si ce n'est que l'isolant est disposé entre les éléments d'une structure servant de support à l'armature de l'enduit; dans ce cas, l'enduit est le plus souvent minéral et est indépendant de l'isolant (voir figures 9 et 10).

■ L'isolation thermique protégée par un bardage :

- Ce système est similaire au précédent, si ce n'est que l'enduit armé est remplacé par un bardage (ardoises, lamelles métalliques ou plastiques, revêtement en bois, ...) fixé sur l'ossature (voir figure 11).

■ Les éléments isolants préfabriqués :

- Il s'agit le plus souvent de panneaux comportant une âme isolante et un revêtement métallique, synthétique ou minéral; l'ensemble étant fixé mécaniquement sur le support (voir figure 12).

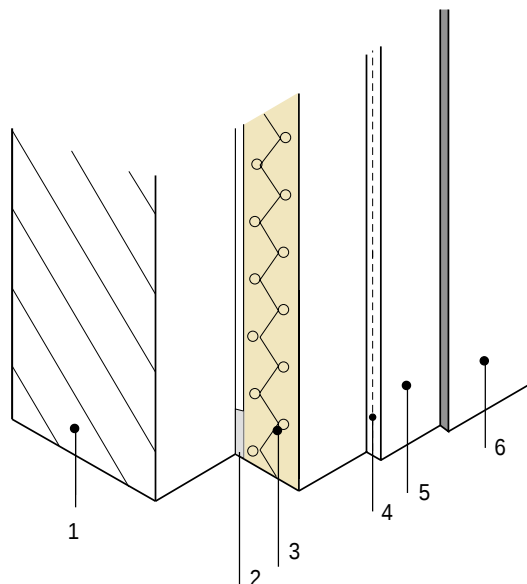


Figure 8 - Isolation par l'extérieur revêtue d'un enduit

1. maçonnerie monolithique
2. mortier de collage de l'isolant
3. panneau d'isolation
4. armature synthétique ou métallique
5. sous-couche de l'enduit
6. enduit de finition

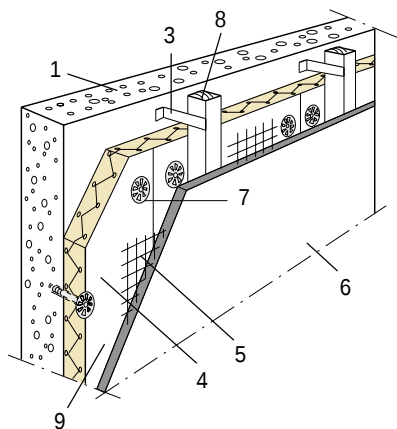


Figure 9 - Isolation par l'extérieur avec enduit sur support indépendant

1. maçonnerie monolithique ou voile en béton
2. ancien enduit éventuel
3. ancrages
4. isolant thermique
5. armature de l'enduit
6. enduit (sous-couche + finition)
7. fixation de l'isolant
8. ossature
9. lame d'air (ventilée ou non)

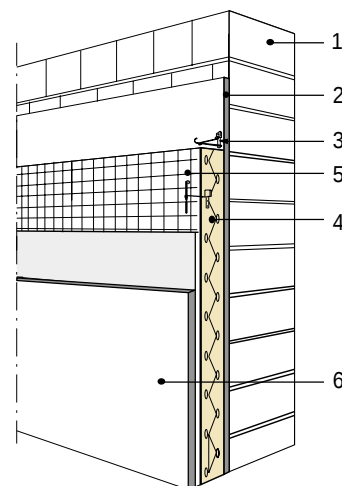


Figure 10 - Isolation par l'extérieur avec enduit sur support indépendant

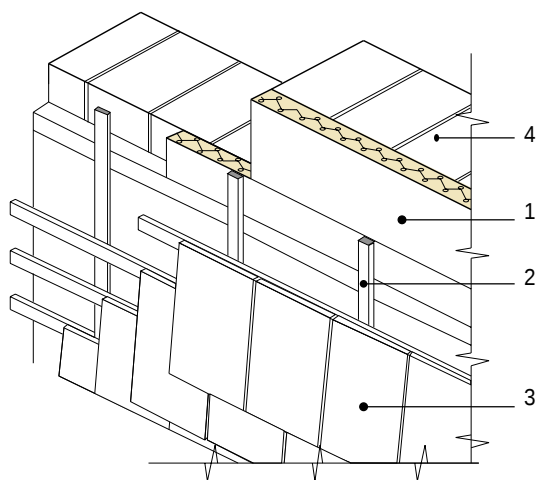


Figure 11 - Isolation extérieure avec bardage

1. isolant thermique
2. lattis
3. bardage
4. maçonnerie monolithique

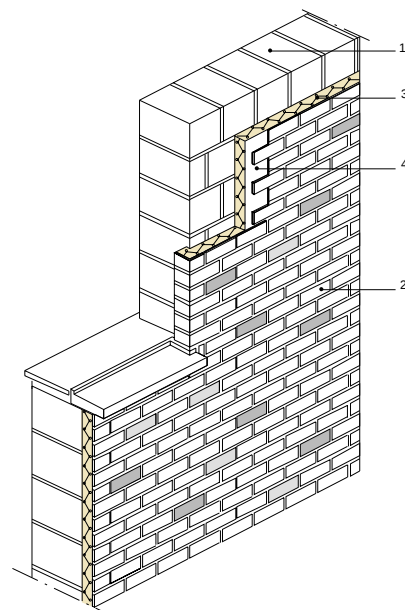


Figure 12 - Isolation extérieure au moyen de panneaux pré-fabriqués

1. mur porteur
2. plaquette de brique
3. isolant
4. fixation mécanique

Caractéristiques des matériaux

3.1. Maçonneries, éléments porteurs et enduits

Dans les tableaux I et II ci-après, nous avons repris certaines caractéristiques physiques des matériaux couramment utilisés pour la réalisation de la partie portante des murs et pour leur parachèvement (enduits).

Ces caractéristiques permettent d'évaluer le risque de fissuration des maçonneries et/ ou des enduits. C'est ainsi que l'amplitude du gonflement (+) ou du retrait (-) hygrométriques permet d'évaluer les risques de fissuration liés à l'humidification et au séchage des matériaux.

Quant au coefficient de dilatation thermique α il sert au calcul des variations dimensionnelles potentielles d'une maçonnerie, d'un voile de béton ou encore d'un enduit qui n'est pas directement solidaire d'un support pierreux.

L'allongement ou le raccourcissement théoriques d'un ouvrage subissant une variation de température peuvent être évalués grâce à la formule :

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta t^\circ \cdot L$$

dans laquelle :

- Δl = l'amplitude de l'allongement ou du raccourcissement

- α = le coefficient de dilatation thermique linéaire du matériau (voir tableaux I et II)
- Δt° = l'écart de température (voir § 4.2.3., 4.3.3., 4.4.3. et 4.5.3.)
- L = la longueur de l'élément considéré.

Pour tenir compte d'une certaine capacité thermique de l'élément, de l'influence des cycles d'échauffement et de refroidissement et de la raideur éventuelle de certaines liaisons mécaniques avec d'autres parties de l'ouvrage, on applique un coefficient de réduction qui varie entre 0,3 et 1.

C'est ainsi que pour une maçonnerie monolithique en briques d'une longueur de 10 m subissant une variation de température été - hiver de 25K, la déformation potentielle peut être évaluée à :

$$\begin{aligned}\Delta l &= 6 \cdot 10^{-6} \cdot 25 \cdot 10 \cdot 0,3 \\ &= 450 \cdot 10^{-6} \text{ m} \\ &= 0,45 \text{ mm.}\end{aligned}$$

Un enduit à base de ciment soumis à un écart de température été – hiver de 50 K et appliqué sur un isolant déformable subira pour une même longueur de façade de 10 m, un mouvement potentiel de :

$$\begin{aligned}\Delta l &= 12 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10 \cdot 1 \\ &= 6000 \cdot 10^{-6} \text{ m} \\ &= 6 \text{ mm.}\end{aligned}$$

On comprend à la vue de ces chiffres que, si dans les deux cas, le risque de fissuration est présent, celui-ci est nettement plus prononcé pour l'enduit.

En ce qui concerne les coefficients de conductivité thermique λ des matériaux ils sont repris au tableau I pour les matériaux isotropes

(homogènes) et au tableau II pour les matériaux anisotropes comme les maçonneries en blocs creux, par exemple.

La plupart des valeurs λ sont extraites de la norme NBN B62-002.

Tableau I

CARACTÉRISTIQUES	Masse volumique	Coefficient de dilatation thermique linéaire	Retrait (-) ou gonflement (+)	Coefficient de conductivité thermique
SYMBOLES	ρ	α		$\lambda(4)$
UNITÉS	kg/m ³	10 ⁻⁶ m/mK	10 ⁻⁶ m/m	W/m.K
MATÉRIAUX PIERREUX				
• maçonnerie de briques (terre cuite)	1000 à 2100	5 – 6	+20 à -10	0,54 à 1,10
• maçonnerie de blocs légers (terre cuite)	700 – 1000	5 – 7	– (1)	0,27 à 0,41
• maçonnerie de blocs moyens (terre cuite)	1000 – 1600	5 – 7	–	0,54 à 0,75
• maçonnerie de blocs lourds (terre cuite)	1600 – 2100	5 – 7	–	0,90 à 1,10
• maçonnerie en moellons (calcaire demi-ferme)	2200	5 – 9	–	1,40 à 1,69
• maçonnerie de briques silico-calcaires	1200 à 1700	10 – 12	≤ 40 (3)	0,60
MATÉRIAUX LIÉS AU CIMENT (5)				
• mortier de ciment	1900	10 – 12	-70	0,93 à 1,50
• mortier bêtard	1600 – 1900	10 – 12	-70	0,70 à 1,20
• béton	2200 – 2400	10 – 12	-30 à -50	1,30 à 2,20
• blocs de béton très légers (2)	≤ 600	10 – 12	-10 à -40	0,22
• blocs de béton légers	600 à 900	7 – 12	-20 à -60	0,30 à 0,50
• blocs de béton moyens	900 à 1200	7 – 12	-20 à -60	0,40 à 0,62
• blocs de béton mi-lourds	1200 à 1800	10 – 12	-20 à -60	0,60 à 1,20
PLÂTRE	1300	7	-	0,52

(1) – signifie que la valeur n'est pas connue.

(2) l'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatologiques extérieures n'est pas recommandée.

(3) selon la norme NBN B21-003

(4) le coefficient de conductivité thermique * est fonction de la masse volumique et du taux d'humidité

(5) ce type de matériau présente généralement un retrait hydraulique supérieur à un éventuel gonflement hygrothermique

MAÇONNERIES EN BLOCS CREUX		Masse volumique	Coefficient de dilatation thermique linéaire	Retrait (-) ou gonflement (+)	Résistance thermique
SYMBOLES		ρ	α		$\lambda(4)$
UNITÉS		kg/m ³	10 ⁻⁶ m/mK	10 ⁻⁶ m/m	m ² K/W
	Epaisseur des éléments en cm				
■ de béton lourd	14	≥ 1200	10 à 12	-20 à -60	0,11
	19				0,14
	29				0,20
■ de béton léger	14	<1200	7 à 12	-20 à -60	0,30
	19				0,35
	29				0,45

Tableau II

3.2. Matériaux isolants

Les isolants thermiques mis en œuvre au niveau des façades appartiennent à 3 grandes familles (*):

- laines minérales;
- mousses plastiques;
- verre cellulaire.

Sont considérés comme isolants thermiques les matériaux dont le coefficient de conductivité thermique λ est $\leq 0,065$ W/m.K. Plus la valeur de ce coefficient est faible et plus le matériau sera performant du point de vue isolation thermique.

Le tableau III ci-après reprend les principales caractéristiques des isolants thermiques.

(**) D'autres matériaux isolants comme la perlite, la vermiculite, le liège, ... sont utilisés plus rarement; leurs principales caractéristiques sont reprises dans la brochure "Isolation thermique de la toiture inclinée".

		Laine minérale MW	Mousses synthétiques				Verre cellulaire CG
Conditionnement commercial		Panneau rigide ou semi-rigide Longueur (cm) : 100 à 130 Largeur (cm) : 60 Epaisseur (mm) : 40 à 120	Panneau rigide avec ou sans emboîtements 100 à 130 60 40 à 120				Panneau rigide 120, 60 40 à 100
Origine et fabrication		Obtenue à partir de verre ou de roche en fusion Les fibres sont transformées en produit homogène à l'aide d'un liant hydrofuge	Obtenue par moussage de matières plastiques issues de la pétrochimie (chimie du pétrole)				Constitué de verre pur expansé
			EPS	XPS revêtue	PUR revêtue	PIR	
Conductivité thermique	$\lambda_d^{(1)}$ $\lambda^{(2)}$	0,032 à 0,041 0,045	0,033 à 0,040 0,045	0,027 à 0,034 0,040	0,024 à 0,029 0,035	0,024 à 0,029 0,035	0,040 à 0,048 0,055
Comportement à l'eau		Non capillaire (n'absorbe pas l'eau)	Non capillaires Absorbent faiblement l'eau à l'exception du XPS				Imperméable = étanche à l'eau
Comportement à la vapeur d'eau		Totalement perméable à la vapeur d'eau Non hygroscopique (prise d'humidité quasi nulle)	Faiblement perméable à la vapeur d'eau				Étanche à la vapeur d'eau
Perméabilité à l'air		Totalement perméable à l'air	Très faiblement perméable à l'air				Imperméable à l'air
Réaction au feu		Non combustible	Combustible				Non combustible

(1) λ_d : intervalle de valeurs certifiées dans les agréments techniques ATG.

(2) Selon l'addendum 1 à la norme NBN B 62-002, on utilise la valeur normalisée à défaut de valeur λ_d .

MW : laine minérale - laine de roche ou laine de verre

PUR : polyuréthane

EPS : polystyrène expansé

PIR : polyisocyanurate

XPS : polystyrène extrudé

CG : verre cellulaire

Tableau III

Remarques :

- Etant donné que l'isolant est d'autant plus performant que son coefficient de conductivité thermique λ est faible, on constate qu'il y a un avantage très net à utiliser un matériau dont la valeur λ_d est certifiée par le biais d'un agrément technique ATG.
- Les mortiers constitués de ciment et de billes de polystyrène expansé ou de perlite siliconée, utilisés pour la réalisation d'une isolation par l'extérieur, ont en général une masse volumique comprise entre 200 et 450 kg/m³ et un coefficient de conductivité thermique λ qui se situe entre 0,07 et 0,12 W/m.K. Ces enduits dits "isolants" ne peuvent donc être assimilés à un isolant thermique au sens propre du terme (voir § 3.2.).

Comportement hygrothermique des murs pleins

4.1. Généralités

Lors de l'examen du comportement hygrothermique des différents types de murs pleins, il convient de se poser les questions suivantes :

Question n° 1

Lors de pluies accompagnées de vent, l'eau peut-elle traverser le mur et occasionner des dégâts aux parachèvements intérieurs ?

En effet, dans le cas de murs pleins, le principe de la double barrière d'étanchéité (*) ne peut être réalisé que si la façade est protégée par un bardage ou un revêtement désolidarisé de son support; et ce, de telle sorte qu'une coulisse drainée puisse être ménagée.

La vitesse avec laquelle l'eau pénètre dans la maçonnerie, ainsi que la quantité absorbée, sont fonction :

- de l'intensité des pluies battantes (**);
- de l'orientation de la façade;
- des dispositions architecturales (dépassant de toiture, auvents, terrasses, ...);
- des caractéristiques des briques, des pierres et du mortier, comme leur coefficient d'absorption et leur taux d'humidité capillaire.

Le diagramme de la figure 13 combine l'intensité moyenne des pluies battantes avec leur durée moyenne par orientation du vent et permet donc de déterminer la quantité de pluie qui tombe théoriquement sur les surfaces verticales suivant les différentes orientations.

Ce diagramme met clairement en évidence que, dans notre pays, ce sont les façades dont l'orientation est comprise entre le SSW et le WSW qui sont de loin les plus exposées aux pluies battantes.

C'est essentiellement la difficulté d'assurer l'étanchéité à la pluie des murs monolithiques qui a mené à la conception du mur creux.

(*) Voir brochure le "Mur creux".

(**) Par pluie battante on entend celle qui dévie de sa trajectoire verticale (pesanteur) sous l'influence du vent; c'est donc le vent qui chasse la pluie contre la façade. Par intensité de pluie on comprend la quantité de pluie exprimée en mm qui est tombée pendant une heure.

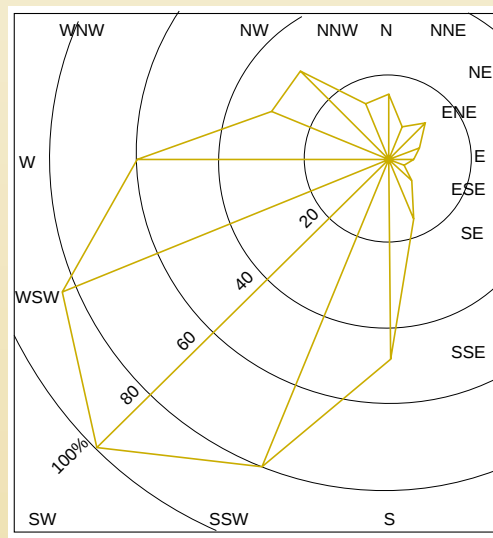


Figure 13 - Produit de l'intensité moyenne des pluies battantes par leur durée moyenne, au cours d'une année (1931 - 1960).

Question n° 2

Le mur plein est-il susceptible à lui seul d'offrir un niveau de confort suffisant, de limiter les déperditions calorifiques, de satisfaire à la réglementation thermique, ... ?

Pour caractériser le niveau d'isolation thermique d'une paroi, on fait en général référence à son coefficient de transmission thermique k (*). Ce coefficient représente la quantité de chaleur, exprimée en J ou en Ws, qui traverse 1 m^2 de la paroi par seconde lorsque celle-ci sépare deux ambiances dont la température diffère de 1 K (1°C).

Le coefficient k s'exprime donc en $\text{W/m}^2\text{K}$ et, plus sa valeur est faible, plus la paroi est isolante thermiquement.

Question n° 3

Dans quelle mesure la composition des murs de l'enveloppe du bâtiment peut-elle amortir les fluctuations des climats extérieurs et intérieurs et quelles seront les répercussions de ces dernières sur le comportement du mur ?

En effet, l'inertie thermique et le niveau d'isolation des murs monolithiques influent sur la manière selon laquelle les variations des températures de l'air intérieur et extérieur modifient le confort intérieur.

Il est par ailleurs important d'avoir une idée de l'ampleur des déformations (dilatation et retrait thermiques) que les variations de climat sont susceptibles de provoquer au sein des maçonneries et de la fissuration qui peut en résulter (voir § 3.1.).

Plus la maçonnerie sera lourde et épaisse, moins elle sera sensible aux variations du climat intérieur et plus les écarts de température qu'elle aura à subir seront faibles, plus le risque de fissuration sera réduit.

Question n° 4

Le mur risque-t-il d'être le siège d'un phénomène de condensation superficielle pour des conditions climatiques normales ?

La condensation superficielle se forme sur une paroi si sa température de surface est $\leq$ à celle du point de rosée de l'air ambiant.

Or il y a lieu de tenir compte du fait que la température de la surface intérieure d'une paroi extérieure (θ_{ie}) peut être sensiblement plus faible que celle de la température de l'air intérieur (θ_{rs}).

La figure 14 ci-après montre clairement l'influence de l'isolation thermique de la paroi sur la température superficielle intérieure de cette dernière.

(*) Les documents en vigueur au niveau européen utilisent la lettre U au lieu de k pour désigner le coefficient de transmission thermique. Au § 4.2.2. - 4.3.2. - 4.4.2. et 4.5.2., nous examinons le niveau d'isolation thermique susceptible d'être atteint au moyen de différentes compositions de mur envisagées au § 2.

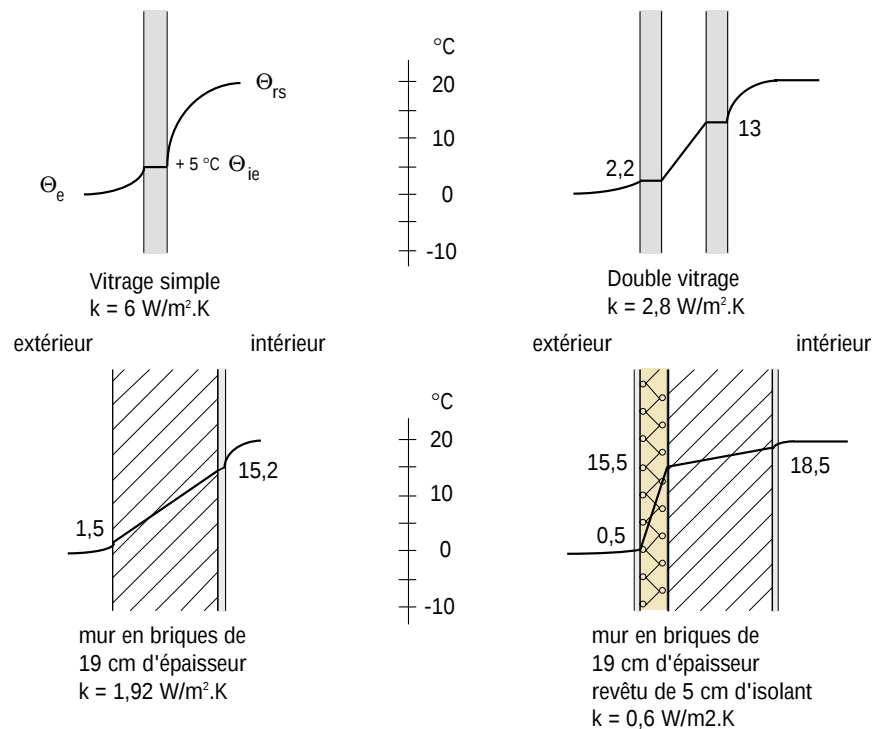


Figure 14 - Evolution de la température au sein de différentes parois extérieures

C'est ainsi que l'on peut voir que pour le vitrage simple la température à la surface intérieure est de 15K inférieure à celle de l'air intérieur et que le risque de condensation superficielle est dès lors très grand.

Les paramètres qui entrent en ligne de compte dans ce phénomène de condensation superficielle, ce sont :

- le climat extérieur (température et humidité relative de l'air);
- les conditions d'occupation (température de l'air, production de vapeur et taux de renouvellement d'air);
- les caractéristiques thermiques de la paroi (température superficielle intérieure ou encore, niveau d'isolation).

Dans le présent document, nous examinons essentiellement le dernier paramètre, sachant que le premier n'est pas maîtrisable et que le second dépend des occupants et fait l'objet de la brochure "Condensations et moisissures".

Pour limiter le risque de condensation superficielle, il faut veiller à ce que le facteur de température $\tau = \frac{\theta_{ie} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$ soit le plus élevé possible.

Le facteur τ détermine la différence entre la température de surface θ_{ie} en un point quelconque de la face intérieure d'une paroi d'un local et la température extérieure θ_e , lorsque la différence de température entre les ambiances intérieure θ_i et extérieure θ_e du local est égale à 1 K.

Sachant que le facteur τ d'un double vitrage ordinaire est de 0,655 et que, lorsque de la condensation se forme de manière fréquente et prolongée sur ce vitrage, celle-ci constitue le signal pour les occupants de ce qu'il convient de corriger le climat intérieur, il a été décidé que le facteur τ des parois opaques devait être $\geq 0,70$.

Lorsque le coefficient k des parois extérieures (calculé selon la norme NBN B 62-002) ne dépasse pas 1,69 W/m².K, le facteur de température τ est $\geq 0,70$ et le risque de condensation superficielle est très faible, même dans les angles extérieurs du local, c'est-à-dire des zones où la circulation d'air est moins intense.

Remarque :

Le fait d'éviter la formation de condensation superficielle ne met pas automatiquement fin au risque de développement de moisissures.

En effet, ces dernières tendent à se développer sur des supports hygroscopiques conservés dans une ambiance humide (humidité relative de l'air $\geq 80\%$). Cette situation est plus particulièrement rencontrée dans les angles entre parois extérieures ou encore derrière des meubles ou tentures, c'est-à-dire des zones où la circulation d'air intérieur est entravée.

Si un coefficient $k \leq 1,69$ W/m².K permet d'éviter, dans la plupart des cas, la formation de condensation superficielle (eau liquide), ce coefficient k doit être $\leq 0,6$ W/m².K pour éviter le développement de moisissures lié à l'hygroscopicité des matériaux (voir règlement thermique wallon).

Question n° 5

La composition du mur plein est-elle susceptible de favoriser la création de ponts thermiques ?

Un pont thermique est une partie de construction dans laquelle, soit la densité du flux de chaleur est sensiblement plus élevée que celle des éléments contigus, soit la température superficielle intérieure est nettement inférieure à celle des éléments environnants.

On considère en général que les parois opaques dont le facteur de température τ est inférieur à 0,7 constituent des ponts thermiques.

La figure 15 ci-après reprend les ponts thermiques les plus couramment rencontrés dans les maisons d'habitation.

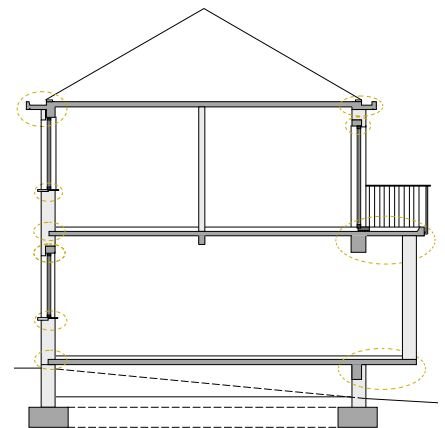


Figure 15 - Ponts thermiques fréquents

Comme nous l'avons vu au § 1.2., les ponts thermiques représentent pour des bâtiments isolés thermiquement environ 6 % des déperditions calorifiques globales.

En outre, ils peuvent favoriser une augmentation du taux d'humidité hygroscopique des matériaux qui les constituent et, dans les cas les plus graves, être le siège d'une condensation superficielle.

Les répercussions de ces deux phénomènes sur le développement de moisissures sont examinées dans la brochure "Condensation et moisissures".

Question n° 6

La composition du mur plein peut-elle favoriser la formation de condensation interne à la paroi et, si oui, la quantité de condensat est-elle gênante ?

Dans nos régions, pendant la majeure partie de l'année, le climat régnant dans les logements est tel que la pression de vapeur y est plus élevée qu'à l'extérieur.

Cette situation a pour conséquence qu'une certaine quantité de vapeur diffuse au travers des murs et peut s'y condenser. Par ailleurs, durant les périodes chaudes de l'année, le séchage des maçonneries peut également entraîner une diffusion de vapeur vers l'intérieur et favoriser une condensation interne au niveau des parachèvements intérieurs.

Question n° 7

L'humidité de construction peut-elle constituer une gêne et comment s'effectue son séchage ?

Par humidité de construction, on entend la quantité d'humidité présente dans un bâtiment après la fin des activités de construction. Cette humidité provient de l'eau absorbée par les matériaux de construction durant leur entreposage, de l'eau de gâchage nécessaire à la mise en œuvre et de l'eau provenant des précipitations atmosphériques durant le chantier.

La quantité d'eau de construction peut varier de 3000 à 5000 l par habitation construite de façon traditionnelle.

Quant à la rapidité avec laquelle cette humidité s'évacue, elle dépend :

- des quantités d'eau absorbées;
- des caractéristiques de séchage des matériaux (taux d'humidité critique, coefficient d'absorption, résistance à la diffusion de vapeur, ...);
- de l'épaisseur des couches de matériau;
- des possibilités de séchage (présence de parachèvement freinant la diffusion de vapeur comme la mise en peinture trop rapide);
- des climats intérieurs et extérieurs (température, humidité relative, vent et ensoleillement).

Question n° 8

Quelles sont les conséquences des remontées capillaires et comment peuvent-elles être combattues ?

La plupart des matériaux de construction mis en contact avec l'eau ou le sol humide sont soumis à une montée capillaire dont l'importance dépend de leur porosité globale, de leur répartition porométrique et du taux d'évaporation potentiel des surfaces humides.

En moyenne, l'humidité ascensionnelle affecte les maçonneries sur des hauteurs comprises entre 0,8 et 1,2 m. Ces valeurs peuvent être plus faibles pour des ouvrages bien ventilés (présence de caves, par exemple), elles peuvent être également sensiblement plus élevées lorsque la concentration en sels hygroscopiques présents dans la maçonnerie est importante ou lorsque l'évaporation de l'eau contenue dans les matériaux est rendue plus difficile par la présence d'enduits peu capillaires ou des parachèvements faiblement perméables à la vapeur.

Dans ce qui suit, nous avons tenté d'apporter une réponse aux questions précitées; et ce, pour les différents types de murs pleins envisagés au § 2.

4.2. Le mur plein traditionnel

4.2.1. Etanchéité à l'eau de pluie

Si ce type de mur n'a pas fait l'objet d'un traitement de protection du type "hydrofugation" ou, mieux, de l'application d'un enduit extérieur, non seulement l'absorption capillaire de l'eau est inévitable mais, pour certaines expositions, les infiltrations sont en outre fortement à craindre.

En effet :

- la plupart des briques et des mortiers sont capillaires;
- il y a fréquemment des joints capillaires entre brique ou pierre et mortier;
- lors de pluies accompagnées de vent, l'eau est chassée dans les petites discontinuités (fissures, petits trous, ...) présents dans la maçonnerie.

Il y a donc lieu de considérer que :

Les murs pleins traditionnels d'une brique d'épaisseur exposés aux pluies battantes sont le siège d'infiltrations s'ils ne sont pas protégés par un revêtement imperméable à leur face extérieure.

Les murs pleins traditionnels d'une épaisseur de 1 1/2 brique et plus donnent d'autant moins rapidement lieu à des passages d'eau que :

- la maçonnerie peut jouer le rôle de réservoir tampon, c'est-à-dire qu'elle est constituée par des matériaux capillaires;
- le mortier présent dans les joints verticaux d'about joue le rôle de "coupure capillaire" vis-à-vis des briques.

Les murs de façade en moellons, même de forte épaisseur, ne sont pas étanches aux pluies battantes.

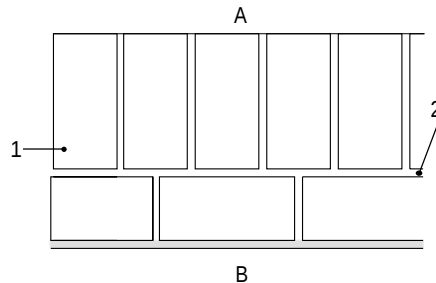


Figure 16 - Vue en plan d'une maçonnerie de 1 1/2 brique d'épaisseur

A. extérieur
B. intérieur
1. maçonnerie pleine
2. joint faisant office de coupure capillaire

4.2.2. Niveau d'isolation thermique

Le tableau IV, p. 21, reprend les coefficients de transmission thermique k , calculés sur la base de la norme NBN B 62-002, de différents types de murs pleins traditionnels.

Il est erroné de croire que les murs monolithiques épais en pierre ou en briques offrent un bon niveau d'isolation thermique. Leur coefficient k est largement supérieur au $k_{\max} \leq 0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ prescrit par le règlement thermique wallon et ils doivent faire l'objet d'une isolation complémentaire. Non isolé ce mur ne limite donc pas suffisamment les déperditions calorifiques et ne peut à lui seul apporter un confort satisfaisant.

4.2.3. Composition du mur plein et comportement thermique du bâtiment

Les murs monolithiques lourds offrent un meilleur confort thermique que les maçonneries légères lors des ralentis de chauffe en hiver et lors des périodes très chaudes en été.

Quant à l'évolution de la température (été-hiver) au sein de ce type de maçonnerie, elle est schématisée à la figure 17 ci-après.

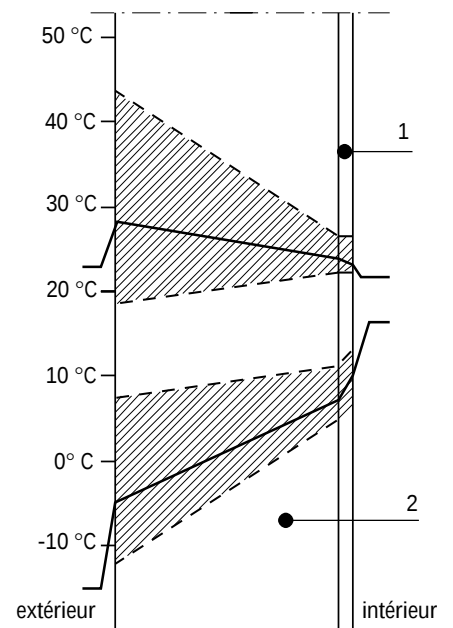


Figure 17 - Evolution de la température au sein du mur lors d'une journée d'été et lors d'une journée d'hiver

1 enduit intérieur
2 maçonnerie monolithique

	Coefficient de transmission thermique k (W/m²K)					
	Epaisseur 19 cm		Epaisseur 29 cm		Epaisseur 39 cm	
	Sec	Humide	Sec	Humide	Sec	Humide
Maçonnerie de briques ordinaires	2,22	2,55	1,69	2,00	1,37	1,64
Maçonnerie de moellons	-	-	2,54	2,79	2,15	2,39

Tableau IV -

Etant donné le coefficient de dilatation thermique faible des matériaux mis en œuvre, la grande inertie thermique de la maçonnerie (variation de température lente au sein du mur) et la relative déformabilité de cette dernière, les écarts de température annuels au sein de ces murs sont pratiquement sans conséquence (répartition des déformations sous forme de micro-fissures).

Pour ce qui est des variations de température journalières, elles ont a fortiori une influence négligeable.

4.2.4. Risque de condensation superficielle

Si nous nous référons au § 4.2.2. ci-avant, nous constatons que le coefficient de transmission thermique k de ce type de mur est toujours supérieur à 1,69 W/m².K, sauf si le mur est épais (> 29 cm), en briques, et conservé au sec. Le facteur τ est donc le plus souvent < 0,7.

Les murs pleins en briques et en pierre - même de forte épaisseur - peuvent être fréquemment le siège d'une condensation superficielle, même pour un climat intérieur normal.

4.2.5. Présence de ponts thermiques

Le mur plein traditionnel ne comporte pas - au sens de la définition - de pont thermique dans la mesure où tous les matériaux disposent de caractéristiques thermiques similaires.

Le niveau d'isolation de ces maçonneries est à ce point médiocre que l'ensemble de la paroi peut être assimilé à un pont thermique.

4.2.6. Risque de condensation interne

Si le mur n'est pas revêtu extérieurement (peinture ou enduit), les risques de condensation interne sont nuls.

Pour qu'en présence d'un revêtement extérieur offrant une certaine résistance à la diffusion de vapeur, il y ait un risque de condensation interne en période hivernale, il faut que le climat intérieur soit anormalement chaud et humide (classe de climat intérieur IV comme dans les piscines, cuisines industrielles, certaines industries). Il faut en outre que la résistance à la diffusion de vapeur de la protection extérieure soit sensiblement supérieure à celle des enduits extérieurs courants qu'ils soient minéraux ou résineux.

Le risque de condensation interne aux murs pleins traditionnels est très faible.

4.2.7. Humidité de construction

Etant donné que la réalisation de murs pleins traditionnels est pratiquement abandonnée, cette question a perdu de son importance. Par contre, s'il s'agit de maçonneries qui feront l'objet d'une isolation par l'intérieur ou par l'extérieur, on se référera respectivement aux § 4.4.7 et 4.5.7. ci-après.

On peut toutefois retenir que ce type de maçonnerie contient entre 120 et 150 kg d'eau de construction par m³ de mur. Le temps de séchage d'un tel mur est fonction des paramètres envisagés au § 4.1. ci-avant.

Globalement, le séchage de ce type de mur non-isolé ne pose pas de problème.

4.2.8. Remontées capillaires

Si l'élimination de l'humidité de construction n'est plus guère d'actualité, il n'en va pas de même du problème des remontées capillaires.

En effet, si la réalisation de murs pleins traditionnels est pratiquement abandonnée, ceux qui existent sont très souvent dépourvus de barrière anticapillaire.

Dans les maçonneries récentes, des membranes anticapillaires sont le plus souvent insérées dans les murs au niveau où ceux-ci sortent des terres, de sorte que les problèmes de remontées capillaires ne se manifestent plus qu'accidentellement (oubli ou mauvais positionnement de la membrane, contournement de cette dernière, ...).

Par contre, dans les anciens murs, cette membrane est le plus souvent absente, ce qui fait que préalablement à tous travaux de rénovation, il convient de remédier à cette situation. Pour ce faire, on peut insérer la membrane manquante en démontant la maçonnerie par petits tronçons. Cette intervention - quoique la plus fiable - est extrêmement lourde, de sorte qu'elle est actuellement le plus souvent abandonnée au profit des injections (*).

Quant aux autres procédés de traitement des remontées capillaires, des essais effectués au CSTC ont montré qu'ils n'étaient pas toujours fiables.

Dans les anciennes maçonneries qui ont été le siège de remontées capillaires, il y a souvent lieu de se méfier de la présence de sels hygroscopiques en provenance du sol. Malgré l'efficacité du traitement contre les remontées capillaires, ces sels peuvent faire en sorte que le taux d'humidité de la maçonnerie reste suffisant que pour favoriser la formation de taches d'humidité.

Etant donné que, jusqu'à ce jour, aucun traitement économiquement acceptable ne permet d'éliminer ces sels, il convient, lorsqu'ils sont présents, d'étudier un parachèvement des murs traités contre les remontées capillaires, qui leur soit insensible.

Enfin, lorsqu'une maçonnerie a fait l'objet d'un traitement contre les remontées capillaires, il y

(*) Pour plus d'informations à ce sujet, on peut consulter la NIT n° 162 : "Les procédés de traitement des maçonneries contre les remontées capillaires", ainsi que l'article "Protection des maçonneries contre les remontées capillaires : injection de produits hydrofuges" extrait du CSTC-Magazine, n° 2 de 1993.

a lieu d'attendre son séchage (6 mois à plusieurs années selon l'épaisseur du mur) avant d'entamer les nouveaux parachèvements.

4.3. Le mur monolithique récent

4.3.1. Etanchéité à l'eau de pluie

Les blocs de construction utilisés pour la réalisation de ces murs sont généralement de grand format et présentent, pour certains, un coefficient d'absorption d'eau relativement faible. Il en résulte que :

- les joints verticaux sont rarement parfaitement remplis;
- le format fait qu'il n'y a pas de joints d'about susceptibles de former une "coupure capillaire";
- certains blocs ne peuvent jouer le rôle de réservoir tampon.

Pour éviter les pénétrations d'eau au travers des murs monolithiques constitués de blocs de grand format et exposés aux pluies battantes, il faut nécessairement prévoir une protection imperméable du côté extérieur.

4.3.2. Niveau d'isolation thermique

Le tableau V ci-après reprend les coefficients de transmission thermique k calculés sur la base de la norme NBN B 62-002 de différents types de murs monolithiques composés de blocs de grand format.

Nature de la maçonnerie	Masse volumique de la maçonnerie ρ en kg/m ³	Coefficient de transmission thermique k (W/m ² .K)					
		Epaisseur 14 cm		Epaisseur 19 cm		Epaisseur 29 cm	
		Sec	Humide	Sec	Humide	Sec	Humide
-Blocs creux de béton lourd	ρ béton ≥ 1200	3,36		3,06		2,58	
-Blocs de béton mi-lourd	1200 à 1800	2,67	3,12	2,27	2,72	1,74	2,16
-Blocs de béton moyen	900 à 1200	1,86	2,42	1,51	2,03	1,10	1,53
-Blocs de béton léger	600 à 900	1,53	2,14	1,22	1,76	0,87	1,30
-Blocs creux de béton léger	ρ béton < 1200	2,05		1,86		1,57	
-Blocs de béton très léger	$\rho \leq 600$	1,21		0,95		0,66	
-Blocs de béton cellulaire	$\rho \leq 500$	0,98		0,77		0,54	
-Blocs de terre cuite allégée	700 à 1000	1,42	1,89	1,12	1,54	0,79	1,12
-Blocs silico-calcaires	1200 à 1700	2,38	2,92	1,98	2,51	1,49	1,96

Tableau V

Seuls des blocs de béton cellulaire très léger ($\rho \leq 500$ kg/m³) mis en œuvre en une épaisseur ≥ 29 cm et dans un état parfaitement sec permettent d'atteindre un niveau d'isolation satisfaisant au critère $k_{\max} \leq 0,6$ W/m².K du règlement thermique wallon ; tous les autres types de mur doivent faire l'objet d'une isolation complémentaire.

4.3.3. Composition du mur plein et comportement thermique du bâtiment

L'utilisation de blocs de construction légers mène à une réduction des performances capacitives de la maçonnerie comparativement à celles des murs traditionnels lourds, de sorte que les variations du climat intérieur (ralenti de chauffe par exemple) seront moins bien amorties.

La figure 18, p. 24, schématise l'évolution de la température (été-hiver) au sein d'une maçonnerie en blocs de béton léger revêtue intérieurement et extérieurement d'un enduit.

Il ressort de cette figure que l'enduit extérieur subit des écarts de température non négligeables et doit donc être apte à résister à ces derniers sans se décoller.

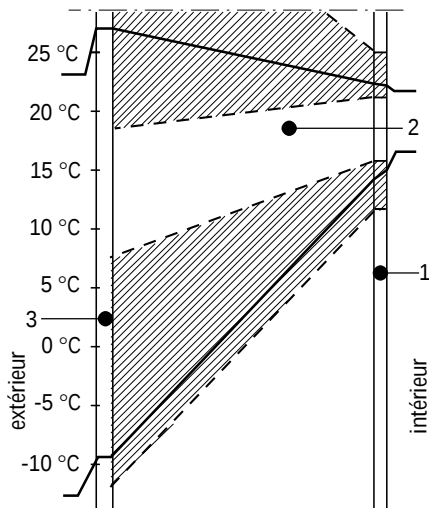


Figure 18 - Evolution de la température au sein d'une maçonnerie en blocs légers lors d'une journée d'été et lors d'une journée d'hiver

1 enduit intérieur
2 maçonnerie en blocs de béton léger
3 enduit extérieur

Il y a lieu de craindre l'apparition de fissures dans l'enduit extérieur au voisinage des baies et/ ou si celui-ci est appliqué sur des matériaux de natures différentes.

Dans ce contexte, il est conseillé d'armer la maçonnerie afin de mieux répartir ses déformations éventuelles.

4.3.4. Risque de condensation superficielle

Du tableau V, § 4.3.2., il ressort que, pour les maçonneries sèches en blocs de béton léger et/ou en terre cuite allégée d'une épaisseur supérieure à 19 cm, le risque de condensation superficielle est faible, voire nul étant donné

que le coefficient k de ces parois est $< 1,69 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Le risque de condensation superficielle est réel si la maçonnerie est constituée de blocs de béton lourd ou mi-lourd, ou encore silico-calcaires; et ce, a fortiori dans les angles ou derrière des meubles ($h_i \leq 5 \text{ W/m}^2\text{K}$) du fait de la moins bonne circulation de l'air intérieur dans ces zones.

4.3.5. Présence de ponts thermiques

Pour les murs monolithiques en blocs de grand format du type lourd ou mi-lourd, un raisonnement similaire à celui tenu pour les murs pleins traditionnels (voir § 4.2.5. ci-avant) peut également être adopté.

Toutefois, dans le cas où des éléments en béton lourd (linteaux, poutre de ceinture etc. ...) sont incorporés ou, pis, traversent une façade en blocs légers ou très légers, on peut alors parler de pont thermique.

4.3.6. Risque de condensation interne

Pour les maçonneries monolithiques en blocs de grand format de type lourd ou mi-lourd, on peut considérer que leur comportement sera pratiquement similaire à celui de murs pleins traditionnels et que le risque de condensation interne est faible (voir § 4.2.6.).

Pour les murs en blocs légers protégés par un enduit extérieur freinant davantage la vapeur que la maçonnerie qui lui sert de support, le risque de formation de condensation interne au dos de l'enduit extérieur est théoriquement réel. Pratiquement, l'inertie hygrique de ces matériaux est toutefois telle que la condensation interne ne se forme pas ou encore qu'elle

n'est pas résiduelle annuellement.

Pour des climats intérieurs normaux ($\leq$ à la classe de climat intérieur IV), le risque de condensation interne est faible et sans conséquences.

4.3.7. Humidité de construction

Les maçonneries en blocs de grand format de type lourd ou mi-lourd peuvent être assimilées du point de vue humidité de construction aux murs pleins traditionnels.

Pour les maçonneries en blocs légers ou très légers qui n'auraient pas fait l'objet d'une protection efficace contre les intempéries durant le chantier, les quantités d'eau absorbées peuvent être très significatives (150 à 200 l/m^3 de mur).

Le temps de séchage de ces maçonneries sera fonction des paramètres envisagés au § 4.1. ci-avant et, pour certains blocs légers, celui-ci peut s'étaler sur un ou deux ans.

Il y a par ailleurs lieu de tenir compte du fait qu'une partie importante de cette humidité de construction s'évacue par l'intérieur et peut donc contribuer à une augmentation du taux d'humidité relative de l'air intérieur.

Il est important de réduire autant que possible l'humidité de construction en protégeant efficacement les matériaux avant et durant l'exécution des travaux.

4.3.8. Remontées capillaires

Pour les murs existants dans lesquels la barrière anticapillaire serait absente ou mal positionnée, on peut envisager de prendre les

mêmes dispositions que celles proposées au § 4.2.8. pour les murs pleins traditionnels.

En ce qui concerne les murs à réaliser, on veillera à disposer une membrane anticapillaire parfaitement continue au niveau des soubassements. La pose de cette membrane devra se faire conformément aux recommandations du chapitre 9 : "Détails d'exécution".

4.4. Le mur plein isolé par l'intérieur

4.4.1. Etanchéité à l'eau de pluie

Le comportement de ce type de mur vis-à-vis des pluies battantes est similaire à celui envisagé ci-avant aux § 4.2.1. et 4.3.1. pour les murs pleins non isolés.

La situation peut toutefois être quelque peu aggravée lorsque la maçonnerie monolithique est susceptible de s'humidifier dans la masse.

En effet, dans ce cas, en période d'été, le séchage de la maçonnerie peut s'opérer partiellement vers l'intérieur du bâtiment et donner lieu à la formation de condensation à l'interface isolant - pare-vapeur. Cette condensation résulte du fait que la finition intérieure de la façade atteint, suite à la présence de l'isolant, une température qui peut être sensiblement inférieure à celle de la maçonnerie.

A l'inverse, en période hivernale, la présence de l'isolant a pour conséquence un abaissement non négligeable de la température au sein de la maçonnerie et, donc, un ralentissement prononcé de son séchage. L'humidification prolongée de la maçonnerie peut quant à elle favoriser une dégradation des matériaux par le gel.

Quelle que soit la composition d'un mur plein, celui-ci doit faire l'objet d'une protection efficace contre les pluies si une isolation thermique est rapportée à sa face intérieure.

4.4.2. Niveau d'isolation thermique

Le niveau d'isolation des murs pleins traditionnels ou constitués de blocs de grand format peut être amélioré sensiblement en rapportant un isolant thermique sur leur face intérieure.

L'apport de ± 5 cm d'un isolant thermique ($\lambda \leq 0,04$ W/m.K) permet au mur monolithique le moins performant ($k = 3,59$ W/m².K) d'atteindre le critère $k_{\max} \leq 0,6$ W/m².K du règlement thermique wallon.

4.4.3. Composition du mur plein et comportement thermique du bâtiment

Encore davantage que dans le cas du mur monolithique en blocs légers, l'apport d'une isolation intérieure atténue l'effet des variations de température extérieure, mais réduit par ailleurs sensiblement le bénéfice, pour l'occupant, des performances capacitives du mur.

En effet, la présence de l'isolant fait en sorte que la maçonnerie ne peut accumuler la chaleur produite dans les locaux et ne peut donc la restituer lors des ralentis de chauffe.

Le fait de rapporter une isolation par l'intérieur peut avoir des répercussions négatives sur le confort thermique d'été mais peut être avantageux lors du chauffage d'un bâtiment occupé occasionnellement (seconde résidence, par exemple).

L'importance de cette influence est toutefois fonction :

- du pourcentage de mur du local recouvert d'isolant;
- de l'importance de la capacité thermique des autres parois (planchers, murs intérieurs);
- de la ventilation du local;
- du système de chauffage (intermittent ou non).

Lorsqu'on compare l'évolution de la température reprise à la figure 18, p. 24, à celle de la figure 19, p. 26, on constate que l'écart de température au sein de la maçonnerie est accentué de $\pm 10^\circ$ C. Si, pour des maçonneries traditionnelles en briques ou en pierre, de tels écarts ne posent guère de problème, pour des murs en blocs de grand format, le risque de fissuration devient réel.

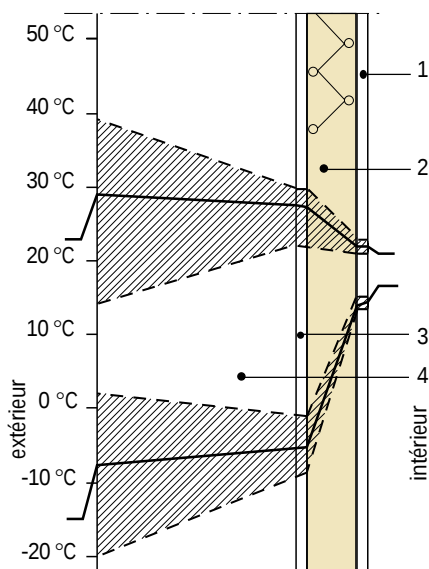


Figure 19 - Evolution de la température au sein d'un mur plein isolé par l'intérieur, lors d'une journée d'été et lors d'une journée d'hiver

- 1 finition intérieure
- 2 isolation thermique (ép. 5 cm)
- 3 ancien enduit éventuel
- 4 maçonnerie portante

L'isolation par l'intérieur provoque un abaissement de la température au sein de la maçonnerie en période hivernale et ralentit son séchage, ce qui peut mener à des dégâts de gel dans les matériaux. Les canalisations véhiculant des fluides ne peuvent être encastrées dans la partie de mur située à la face froide de l'isolant.

4.4.4. Risque de condensation superficielle

La présence d'une isolation thermique suffisamment épaisse à la face intérieure du mur fait en sorte que, pour des conditions climatiques équivalentes, la température de surface de la paroi sera sensiblement plus élevée que celle de la même paroi non isolée.

L'isolation par l'intérieur permet de réduire ou de supprimer le risque de condensation superficielle dans les parties courantes du mur. L'interruption de l'isolant à la jonction avec les parois adjacentes fait, qu'à ces endroits, la formation de condensation superficielle est fortement à craindre du fait de l'accentuation des ponts thermiques.

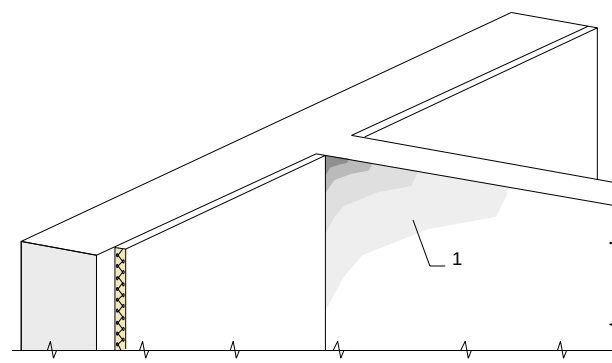


Figure 20 - Mur plein isolé par l'intérieur - Raccord avec un mur de refend

- 1. condensation et moisissures

4.4.5. Ponts thermiques

Comme nous l'avons vu au § 4.4.4. ci-avant, les discontinuités de l'isolation au droit des jonctions avec les parois adjacentes (pont thermique) sont souvent le siège de condensation superficielle et/ou du développement de moisissures.

Dans le cas d'une isolation par l'intérieur, les jonctions avec les murs de refend, les planchers, les ouvertures de baie, ... constituent le plus souvent des ponts thermiques qui ne peuvent que difficilement être éliminés.

4.4.6. Risque de condensation interne

L'isolation par l'intérieur ne peut être retenue que si le climat intérieur est normal (climat $\leq$ classe de climat intérieur III).

Pour des climats intérieurs chauds et humides (classe de climat intérieur IV - piscines, par exemple), le risque de condensation à l'interface maçonnerie-isolant est trop important.

La mise en œuvre d'un isolant perméable à la vapeur (laine minérale, par exemple) doit être complétée par la pose d'un pare-vapeur du type E1 ($2 \text{ m} < \mu_d \leq 5 \text{ m}$) (*).

Le pare-vapeur doit être posé d'une manière telle que l'étanchéité à l'air soit assurée, c'est-à-dire que de l'air intérieur ne puisse circuler entre la maçonnerie et l'isolant.

Lors de la pose d'un isolant entre lattes, il y a lieu d'être plus particulièrement vigilant à cette étanchéité à l'air.

En l'absence d'une protection extérieure contre les pluies, le séchage du mur peut s'opérer vers l'intérieur en période d'été et donner lieu à la formation de condensation à hauteur du pare-vapeur (voir § 4.4.1. ci-avant).

L'utilisation d'un isolant peu ou pas perméable à la vapeur (EPS, XPS, PUR, CG) et posé selon la technique proposée à la figure 7 ne nécessite pas l'interposition d'un pare-vapeur pour autant que de l'air intérieur ne puisse circuler entre isolant et maçonnerie. Si ce type d'isolant est mis en œuvre entre lattes (voir figure 6), dans ce cas, la pose du pare-vapeur reste indispensable.

(*) Pour plus d'explications concernant le choix d'un pare-vapeur, voir la brochure: "Isolation thermique de la toiture inclinée".

L'utilisation d'un isolant ou d'une technique de pose nécessitant la mise en place d'un pare-vapeur, rend indispensable la protection de la maçonnerie contre les pénétrations d'eau de pluie (enduit imperméable à l'eau, mais perméable à la vapeur).

Le risque de condensation à l'interface isolant - mur plein est d'autant plus grand que :

- le climat intérieur est chaud et humide;
- la résistance à la diffusion de vapeur de la partie du mur, extérieure par rapport à l'isolant, est élevée (béton lourd, par exemple);
- la pose du pare-vapeur et/ou de l'isolant est moins soignée.

4.4.7. Humidité de construction

Les commentaires formulés aux § 4.2.7. et 4.3.7. sont également d'application dans le cas du mur plein isolé par l'intérieur.

Il y a toutefois lieu de tenir compte du fait que les températures plus basses enregistrées au niveau de la maçonnerie font en sorte que le séchage de cette dernière est ralenti.

En période d'été, le séchage s'opère vers l'intérieur et peut favoriser une condensation au niveau du pare-vapeur ou de la finition intérieure (voir § 4.4.1. ci-avant) et y provoquer des dégâts.

La pose d'une isolation intérieure ne peut être envisagée qu'après le séchage le plus complet possible de la maçonnerie et la protection efficace de cette dernière contre une réhumidification.

4.4.8. Remontées capillaires

Comme pour les types de mur plein examinés aux § 4.2.8. et 4.3.8. ci-avant, il y a lieu de réaliser une barrière anticapillaire.

La mise en œuvre d'une isolation intérieure ne peut être réalisée que si le mur dispose d'une barrière anticapillaire efficace et que la maçonnerie est asséchée.

Après assèchement du mur, l'isolation par l'intérieur peut contribuer à dissimuler les problèmes éventuels liés à la présence de sels dans la maçonnerie (voir § 4.1. ci-avant).

4.5. Le mur plein isolé par l'extérieur

4.5.1. Etanchéité à l'eau de pluie

Tout comme pour les murs creux isolés thermiquement, il y a lieu de prendre des dispositions pour que l'isolant ne puisse s'humidifier dans la masse et, qu'a fortiori, la maçonnerie ne puisse être atteinte par les eaux de pluie.

Dans le cas des isolations extérieures protégées par un bardage (voir figure 11) ou un enduit appliqué sur une structure indépendante (voir figure 9), la présence d'une coulisse permet un drainage de l'eau qui aurait éventuellement traversé la protection de l'isolant.

Lorsque l'enduit est directement appliqué sur l'isolant, il remplit seul la fonction d'étanchéité aux pluies battantes. Dans ce cas, l'enduit devra être choisi de façon telle qu'il n'absorbe pas trop d'eau et que celle qu'il aurait absorbée puisse s'évacuer rapidement par séchage vers l'extérieur.

Lorsque l'isolation par l'extérieur est protégée des pluies battantes par un enduit, il est vivement conseillé d'avoir recours à un système bénéficiant d'un agrément technique ATG.

4.5.2. Niveau d'isolation thermique

Tout comme pour le mur plein isolé par l'intérieur, l'apport d'un isolant thermique à la face extérieure de la maçonnerie permet d'en améliorer sensiblement le niveau d'isolation thermique.

± 5 cm d'un isolant thermique ($\lambda \leq 0,04 \text{ W/m.K}$) rapportés à la face extérieure du mur plein permettent, même au moins isolant de ces derniers, de satisfaire au critère $k_{\max} \leq 0,6 \text{ W/m}^2.\text{K}$ du règlement thermique wallon.

4.5.3. Composition du mur plein et comportement thermique du bâtiment

L'isolation extérieure fait en sorte que les variations de la température extérieure ont beaucoup moins de répercussions sur la température intérieure, ce qui n'est pas le cas en l'absence d'une isolation thermique ou, surtout, d'une isolation intérieure (voir § 4.2.3., 4.3.3. et 4.4.3.).

L'isolation extérieure permet en effet une meilleure utilisation de la capacité thermique des maçonneries, ce qui entraîne des refroidissements et des réchauffements moins brutaux du climat intérieur. Cette situation est surtout avantageuse lors de périodes ensoleillées (gains solaires et moins de risque de surchauffe), mais peut se révéler légèrement plus défavorable en cas de chauffage intermittent (réchauffement plus lent).

Si l'emplacement de l'isolant thermique n'a pratiquement pas d'influence sur le calcul des déperditions calorifiques, il joue par contre un rôle important dans la réaction de la paroi vis-à-vis des variations brutales des températures extérieure et intérieure.

Du diagramme de la figure 21, il ressort clairement que les variations de température au sein de la maçonnerie sont très fortement réduites, ce qui supprime pratiquement les risques de fissuration d'origine thermique.

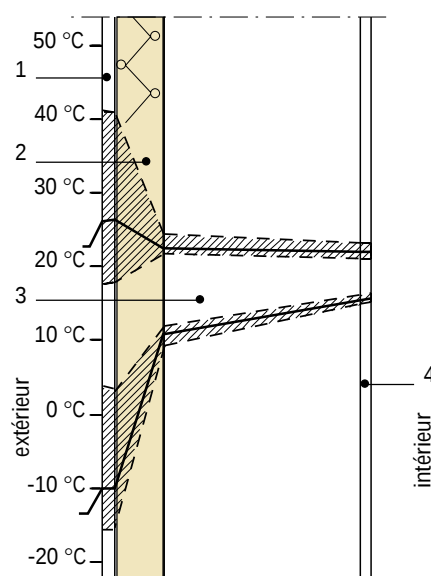


Figure 21 - Evolution de la température au sein d'un mur plein isolé par l'extérieur, lors d'une journée d'été et lors d'une journée d'hiver

1. enduit extérieur
2. isolation thermique (épaisseur 5 cm)
3. maçonnerie monolithique
4. enduit intérieur

Par contre, les écarts de température auxquels est soumis l'enduit extérieur protégeant l'isolation sont susceptibles d'atteindre 50° C et plus; et ce, du fait :

- de sa faible inertie thermique;
- de la présence de l'isolant.

Ce sont par ailleurs les variations de température de courte période qui sont les plus néfastes du point de vue sollicitations thermiques de l'enduit de protection.

L'application, sur un isolant thermique, d'un enduit non-armé ne permet pas d'éviter la fissuration de ce dernier. La présence d'une armature au sein de l'enduit réduit considérablement ce risque, mais ne l'exclut pas.

4.5.4. Risque de condensation superficielle

La présence d'une isolation thermique extérieure suffisamment épaisse et correctement exécutée permet de supprimer tout risque de condensation superficielle, même sur les murs pleins en briques ou en pierre.

4.5.5. Ponts thermiques

La technique de l'isolation par l'extérieur permet en général de bien maîtriser les problèmes de pont thermique dans la mesure où il est possible d'éviter les discontinuités de l'isolation.

Il y a toutefois lieu de prêter une attention particulière aux détails suivants :

- soubassements de façade;
- retour de baie,
- éléments en encorbellement (balcons, corniches, ...);
- jonction entre le mur isolé et un mur extérieur (mur coupe-vent, par exemple).

4.5.6. Risque de condensation interne

Si théoriquement une condensation peut se former à l'interface entre l'isolant et l'enduit extérieur ou le bardage, des essais et la pratique ont démontré que ce risque était pratiquement nul pour autant que le climat intérieur soit normal ($\leq$ classe de climat intérieur III).

Il faut par ailleurs éviter les fuites convectives (perforations de la maçonnerie) qui permettraient une pénétration directe d'air intérieur dans l'isolant.

Le risque de condensation interne est pratiquement nul dans le cas d'isolation par l'extérieur, de sorte que la pose d'un pare-vapeur est superflue.

4.5.7. Humidité de construction

L'isolation par l'extérieur ne constitue pas une réelle entrave à l'évacuation de l'humidité de construction.

Le temps de séchage peut varier quelque peu en fonction des types d'isolant et d'enduit extérieur (* perméables à la vapeur), du taux d'hu-

midité de la maçonnerie au moment de la pose de l'isolation et de l'époque de l'année à laquelle les travaux sont réalisés.

4.5.8. Remontées capillaires

Si la maçonnerie sur laquelle l'isolant thermique doit être rapporté est le siège de remontées capillaires, celles-ci doivent au préalable faire l'objet d'un traitement (voir § 4.2.8. ci-avant).

Remarque :

Si l'isolation thermique doit être prolongée à un niveau inférieur à celui de la barrière anti-capillaire, ou encore si le séchage de la maçonnerie n'est pas terminé, il y a lieu de prévoir une fixation mécanique résistante à l'humidité, de l'isolant et de son revêtement (voir figure 30).

Traitement des parements extérieurs

5.1. Mise en peinture

Très souvent, on compte sur la mise en peinture de la maçonnerie pour remédier aux pénétrations d'eau au sein de cette dernière.

Or, il faut savoir qu'une partie importante de l'eau qui s'infiltre dans une maçonnerie y pénètre par les inévitables petites discontinuités (joints incomplètement remplis, petits trous, fissures ...) qui le plus souvent ne peuvent être colmatées par le feuil de peinture.

Qui plus est, si la peinture peut réduire dans des proportions sensibles les pénétrations d'eau par capillarité dans les matériaux, elle en freine également considérablement le séchage. C'est pourquoi il faut veiller, lorsqu'une maçonnerie est peinte, à ce qu'il n'y ait pas de contournement du système de peinture par des pénétrations directes d'eau dans les murs (couvres murs efficaces, seuils étanches...).

Le rôle de la peinture réside essentiellement dans la décoration de la façade et non dans la réalisation d'une étanchéité.

5.2. Hydrofugation

Si comme le feuil de peinture, les hydrofuges de surface réduisent les pénétrations capillaires de l'eau, ils présentent en outre l'avantage de ne ralentir que très faiblement le séchage du mur.

Appliqués sur une maçonnerie constituée par des matériaux capillaires (briques de terre cuite, par exemple), les hydrofuges de surface sont susceptibles d'en retarder la saturation de manière très significative.

Par contre, les hydrofuges seront peu efficaces ou même inutiles sur des matériaux peu ou pas capillaires comme certaines pierres compactes (granits, Petit granit, grès...) et certains bétons. Ils seront également inefficaces lorsqu'ils sont appliqués sur des supports présentant une structure très ouverte, comme certains blocs de béton, ou présentant des discontinuités (petits trous, fissures d'une ouverture > à 0,3 mm) comme certaines maçonneries de moellons.

Les hydrofuges de surface ne permettent pas d'assurer l'étanchéité des façades mais peuvent en retarder la saturation.

Appliqués correctement, les hydrofuges ralentissent également le salissement de la façade, en facilitent le nettoyage et retardent le développement de mousses.

Pour effectuer un traitement efficace, il est recommandé :

- de choisir un produit dont la concentration en résine est adaptée au matériau à hydrofuger;

- d'avoir de préférence recours à des produits bénéficiant d'un agrément technique (ATG);
- d'appliquer l'hydrofuge de manière continue et à refus sur un support sec.

5.3. Enduits extérieurs

Les enduits extérieurs peuvent appartenir aux familles suivantes :

- enduit minéral généralement à base de liants hydrauliques (ciment et/ou chaux);
- enduit synthétique dont le liant est constitué par une résine synthétique.

Les enduits minéraux - au même titre que les enduits synthétiques - peuvent être préparés en usine afin d'obtenir une meilleure constance dans les mélanges et limiter de ce fait les variations de teinte et d'état de surface. Ces enduits doivent pouvoir remplir les **fonctions** suivantes :

- **Décoration** : la grande variété de compositions, de teintes et d'états de surface (lisse, gratté, tyrolien, ...) permettent aux enduits de conférer un aspect décoratif au mur. Les enduits rendent en outre possible la correction de certaines tolérances d'exécution de la maçonnerie sous-jacente;

- **Protection contre les pénétrations d'eau** : comme nous l'avons vu au § 4, l'enduit extérieur doit pour certains types de murs, assurer l'étanchéité à l'eau (pluies battantes). Les enduits disponibles sur le marché remplissent en général cette fonction lorsqu'ils sont appliqués conformément aux recommandations et qu'ils ne présentent pas de fissuration importante (> 1 à $2/10$ mm);

- **Perméabilité à la vapeur d'eau** : il ressort également du § 4 ci-avant que les enduits extérieurs doivent être perméables à la vapeur afin de permettre le séchage de la maçonnerie et l'évacuation de l'humidité qui aurait pénétré dans cette dernière sous forme de vapeur. La pratique a montré que la plupart des enduits - qu'ils soient minéraux ou synthétiques - combinent une absorption d'eau faible à une perméabilité à la vapeur élevée, ce qui leur permet de réduire les pénétrations d'eau tout en autorisant le séchage;

- **Résistance mécanique** : ils doivent pouvoir résister à des chocs modérés principalement au niveau du rez-de-chaussée, adhérer suffisamment à leur support, disposer d'une cohésion adéquate et résister à la fissuration. Les enduits appliqués correctement et sur des supports préparés d'une façon adéquate disposent généralement des caractéristiques adaptées aux sollicitations mécaniques. Lorsque l'enduit est appliqué sur un isolant thermique, il y a toutefois lieu de prévoir une armature si on souhaite limiter le risque de fissuration.

Les systèmes d'isolation par l'extérieur

comportant une finition sous forme d'enduit doivent disposer d'un agrément technique ATG. Pour les enduits directement appliqués sur la maçonnerie, la fissuration autre que celle liée au retrait du matériau (faïençage – fissures < 1 à $2/10$ mm) doit généralement être attribuée à des déformations du support (mouvements d'origine thermique, tassements de bâtiments, ...).

5.4. Bardages

Les bardages sont constitués par des éléments de petit ou de grand formats en bois, en métal, en fibro-ciment, en matière plastique, en terre cuite, en pierre naturelle, ... qui permettent de réaliser à la fois la décoration, la protection contre l'humidification et contre les sollicitations mécaniques éventuelles de l'isolant ou de la maçonnerie. La technique du bardage permet de créer une coulisse drainée entre le revêtement et la maçonnerie ou l'isolation de sorte que cette solution se rapproche de celle du mur creux (voir brochure le "Mur creux").

Règlement thermique

La nouvelle réglementation thermique est d'application depuis le 1er décembre 1996.

Elle concerne :

- les maisons;
- les immeubles de logement;
- les bâtiments d'hébergement (hôpitaux, homes, hôtels, internats, ...);
- les bâtiments scolaires;
- les immeubles de bureaux.

Elle fait une distinction entre :

- les nouvelles constructions;
- les constructions rénovées avec ou sans changement de fonction.

Elle prévoit pour tous les bâtiments nouveaux ou rénovés des exigences de $k_{\max}$ applicables aux éléments de construction faisant partie de la superficie de déperditions et nouvellement construits (pour les nouveaux bâtiments) ou rénovés.

Elle impose, au moment de la demande de permis de bâtir, que l'auteur du projet démontre la performance énergétique du bâtiment qu'il a conçu (voir tableaux VI et VII ci-après).

Le fait de respecter la valeur $k_{\max}$ pour les différents éléments de la superficie de déperditions ne conduit pas automatiquement à la satisfaction du K55, K65, K70 ou encore b_{e450} ; il faut donc tendre vers des niveaux d'isolation plus performants.

Tableau VI ISOLATION THERMIQUE			
Type de bâtiment	Construction neuve	Rénovation avec changement de fonction	Rénovation sans changement de fonction
Logements : -maisons -immeubles d'appartements et d'hébergement	K55 ⁽¹⁾ ou b_{e450} ⁽²⁾ et valeurs k_{max} ⁽³⁾	K65 ⁽¹⁾ et valeurs k_{max} ⁽³⁾	- et valeurs k_{max} ⁽³⁾
Bureaux et bâtiments scolaires	K65 ⁽¹⁾ et valeurs k_{max} ⁽³⁾	K70 ⁽¹⁾ et valeurs k_{max} ⁽³⁾	valeurs k_{max} ⁽³⁾
(¹) Les niveaux K55, K65 et K70 sont calculés selon la norme NBN B62-301 et tiennent compte de la compacité du bâtiment (volume chauffé divisé par la surface totale de l'enveloppe du volume protégé) et des pertes de chaleur au travers des parois du volume protégé. (²) Les besoins nets en énergie pour le chauffage b_{e450} MJ/m²hiver sont calculés suivant le règlement paru au Moniteur Belge du 31 octobre 1984 ou dans la Note d'Information Technique n° 155 du CSTC. Les calculs tiennent compte : - des pertes de chaleur au travers des parois du volume protégé; - des pertes par ventilation; - des apports internes dus à l'occupation; - des apports solaires. (³) Les valeurs k_{max} (W/m².K) calculées suivant la norme NBN B62-002 sont reprises au tableau VII ci-après.			

Tableau VII	ELÉMENTS DE LA SUPERFICIE DE DÉPERDITIONS	k_{max} (W/m ² .K)
1. Fenêtres et autres parois translucides, portes		3,5
2. Murs et parois opaques verticales : - entre le volume protégé (VP) et l'ambiance extérieure ou entre le volume protégé et un local non chauffé non à l'abri du gel - entre le volume protégé et un local non chauffé à l'abri du gel - entre le volume protégé et le sol		0,6 0,9 0,9
3. Toiture entre volume protégé (VP) et l'ambiance extérieure, ou ensemble plafond + grenier + toiture		0,4
4. Plancher : - entre le volume protégé (VP) et l'ambiance extérieure ou entre le volume protégé et un local non chauffé non à l'abri du gel - entre le volume protégé et un local non chauffé à l'abri du gel - entre le volume protégé et le sol		0,6 0,9 1,2
5. Paroi mitoyenne (paroi entre deux volumes protégés ou entre appartements)		1

Comment atteindre les performances thermiques

Nous avons vu aux § 4.2.2 et 4.3.2 ci-avant, qu'à l'exception des maçonneries en blocs de béton cellulaire ($\rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$) réalisées en épaisseur $\geq 29 \text{ cm}$, aucun des murs pleins envisagés ne permettait de satisfaire au k_{max} $0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ imposé par le règlement thermique wallon si une isolation thermique ne lui était pas additionnée. Dans le tableau n° VIII, p. 35 e.s., nous avons repris les épaisseurs minimales des différents isolants qui doivent être rapportées à la face intérieure ou extérieure des murs examinés précédemment pour satisfaire à $k_{\text{max}} = 0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ou mieux encore à $k = 0,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ et $k = 0,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Remarques :

- Nous avons considéré que si l'isolation est rapportée du côté intérieur, la maçonnerie a fait l'objet d'une protection extérieure contre les pénétrations d'eau de pluie et peut dès lors être considérée comme étant sèche (voir § 4.4.6). Pour les isolations rapportées du côté extérieur, la protection obligatoire de cette dernière contre les intempéries permet également d'assimiler la maçonnerie à un matériau sec.

- Les épaisseurs d'isolant reprises dans les tableaux ont été déterminées en adoptant, pour les maçonneries, les coefficients λ et/ou les résistances thermiques mentionnées dans la norme NBN B 62-002 et, pour les isolants thermiques, celles proposées par l'addendum 1 à la NBN B 62-002.
- Les épaisseurs d'isolant calculées doivent être majorées de manière à atteindre l'épaisseur commerciale supérieure.
- Lors de l'emploi d'un isolant disposant d'un agrément technique (ATG), il est possible de réduire, en fonction du λ_d repris dans ce document, les épaisseurs mentionnées dans le tableau. Pour certains isolants cette réduction peut être appréciable.
- A épaisseur d'isolant égale, la présence d'une lame d'air moyennement ventilée entre l'isolation et sa protection (enduit ou bardage) apporte une amélioration du niveau d'isolation thermique, par rapport à la même façade sans lame d'air, qui est de l'ordre de 2,5 à 5 % de la valeur du

coefficient de transmission thermique k . Cette amélioration n'est toutefois réelle que si l'isolant est posé avec grand soin et que toute circulation d'air entre l'isolant et la maçonnerie est évitée.

- Il est recommandé d'avoir recours à un isolant thermique disposant d'un agrément technique (ATG) et de le mettre en œuvre dans des épaisseurs $\geq 8 \text{ cm}$.

Tableau VIII Composition du mur plein (1)	Masse volumique (kg/m³)	Coeff. conductivité thermique retenu (W/m.K) (2) - Résistance thermique retenue (m² K/W) (3)	Epaisseur du mur plein (cm)	Coefficient k du mur plein sans isolant (W/m².K)	Epaisseur de l'isolant (en cm) à ajouter pour obtenir :				
					K _{max} (W/m².K)	Nature de l'isolant			
						MW	XPS EPS	PUR	CG PIR
Maçonnerie de briques ordinaires	1000 à 2100	0.72 (2)	19.00	2.22	0.60	5.47	4.86	4.25	6.69
					0.40	9.22	8.20	7.17	11.27
					0.30	12.97	11.53	10.09	15.85
			29.00	1.69	0.60	4.84	4.31	3.77	5.92
					0.40	8.59	7.64	6.68	10.50
					0.30	12.34	10.97	9.60	15.09
			39.00	1.37	0.60	4.22	3.75	3.28	5.16
					0.40	7.97	7.08	6.20	9.74
					0.30	11.72	10.42	9.12	14.32
					0.30	11.72	10.42	9.12	14.32
Maçonnerie de moellons	2200	1.40 (2)	29.00	2.54	0.60	5.73	5.09	4.45	7.00
					0.40	9.48	8.42	7.37	11.58
					0.30	13.23	11.76	10.29	16.16
			39.00	2.15	0.60	5.40	4.80	4.20	6.60
					0.40	9.15	8.14	7.12	11.19
					0.30	12.90	11.47	10.04	15.77
Blocs creux de béton lourd	≥ 1200	0.11 (3)	14.00	3.36	0.60	6.16	5.48	4.79	7.53
					0.40	9.91	8.81	7.71	12.12
					0.30	13.66	12.14	10.63	16.70
		0.14 (3)	19.00	3.06	0.60	6.03	5.36	4.69	7.37
					0.40	9.78	8.69	7.60	11.95
					0.30	13.53	12.02	10.52	16.53
		0.20 (3)	29.00	2.58	0.60	5.76	5.12	4.48	7.04
					0.40	9.51	8.45	7.39	11.62
					0.30	13.26	11.78	10.31	16.20
					0.30	13.26	11.78	10.31	16.20
Blocs de béton mi-lourd	1200 à 1800	0.75 (2)	14.00	2.67	0.60	5.82	5.17	4.52	7.11
					0.40	9.57	8.50	7.44	11.69
					0.30	13.32	11.84	10.36	16.28
			19.00	2.27	0.60	5.52	4.90	4.29	6.74
					0.40	9.27	8.24	7.21	11.33
					0.30	13.02	11.57	10.12	15.91
			29.00	1.74	0.60	4.92	4.37	3.82	6.01
					0.40	8.67	7.70	6.74	10.59
					0.30	12.42	11.04	9.66	15.18
					0.30	12.42	11.04	9.66	15.18
Blocs de béton moyen	900 à 1200	0.40 (2)	14.00	1.86	0.60	5.08	4.52	3.95	6.21
					0.40	8.83	7.85	6.87	10.80
					0.30	12.58	11.18	9.79	15.38
			19.00	1.51	0.60	4.52	4.02	3.52	5.52
					0.40	8.27	7.35	6.43	10.11
					0.30	12.02	10.68	9.35	14.69
			29.00	1.10	0.60	3.39	3.02	2.64	4.15
					0.40	7.14	6.35	5.56	8.73
					0.30	10.89	9.68	8.47	13.32
					0.30	10.89	9.68	8.47	13.32

Tableau VIII (suite 1)									
Composition du mur plein (1)	Masse volumique (kg/m³)	Coeff. conductivité thermique retenu (W/m.K) (2) - Résistance thermique retenue (m² K/W) (3)	Epaisseur du mur plein (cm)	Coefficient k du mur plein sans isolant (W/m².K)	Epaisseur de l'isolant (en cm) à ajouter pour obtenir :				
					K _{max} (W/m².K)	Nature de l'isolant			
						MW	XPS EPS	PUR	CG PIR
Blocs de béton léger	600 à 900	0.30 (2)	14.00	1.53	0.60	4.56	4.05	3.54	5.57
					0.40	8.31	7.38	6.46	10.15
					0.30	12.06	10.72	9.38	14.74
			19.00	1.22	0.60	3.81	3.38	2.96	4.65
					0.40	7.56	6.72	5.88	9.24
					0.30	11.31	10.05	8.79	13.82
			29.00	0.87	0.60	2.31	2.05	1.79	2.82
					0.40	6.06	5.38	4.71	7.40
					0.30	9.81	8.72	7.63	11.99
Blocs creux de béton léger	< 1200	0.30 (3)	14.00	2.05	0.60	5.31	4.72	4.13	6.49
					0.40	9.06	8.05	7.04	11.07
					0.30	12.81	11.38	9.96	15.65
		0.35 (3)	19.00	1.86	0.60	5.08	4.52	3.95	6.21
					0.40	8.83	7.85	6.87	10.80
					0.30	12.58	11.18	9.79	15.38
		0.45 (3)	29.00	1.57	0.60	4.63	4.12	3.60	5.66
					0.40	8.38	7.45	6.52	10.25
					0.30	12.13	10.78	9.44	14.83
Blocs de béton très léger	≤ 600	0.22 (2)	14.00	1.21	0.60	3.79	3.37	2.95	4.64
					0.40	7.54	6.71	5.87	9.22
					0.30	11.29	10.04	8.78	13.80
			19.00	0.95	0.60	2.77	2.46	2.16	3.39
					0.40	6.52	5.80	5.07	7.97
					0.30	10.27	9.13	7.99	12.55
			29.00	0.66	0.60	0.73	0.65	0.56	0.89
					0.40	4.48	3.98	3.48	5.47
					0.30	8.23	7.31	6.40	10.05
Blocs de béton cellulaire	≤ 500	0.18 (2)	15.00	0.98	0.60	2.91	2.58	2.26	3.55
					0.40	6.66	5.92	5.18	8.14
					0.30	10.41	9.25	8.09	12.72
			20.00	0.77	0.60	1.66	1.47	1.29	2.03
					0.40	5.41	4.81	4.21	6.61
					0.30	9.16	8.14	7.12	11.19
			30.00	0.54	0.60				
					0.40	2.91	2.58	2.26	3.55
					0.30	6.66	5.92	5.18	8.14
Blocs de terre cuite lourds	1600 à 2100	0.90 (2)	14.00	2.92	0.60	5.96	5.30	4.63	7.28
					0.40	9.71	8.63	7.55	11.86
					0.30	13.46	11.96	10.47	16.45
			19.00	2.51	0.60	5.71	5.07	4.44	6.98
					0.40	9.46	8.41	7.36	11.56
					0.30	13.21	11.74	10.27	16.14
			29.00	1.96	0.60	5.21	4.63	4.05	6.36
					0.40	8.96	7.96	6.97	10.95
					0.30	12.71	11.30	9.88	15.53

Tableau VIII (suite 2)									
Composition du mur plein (1)	Masse volumique (kg/m³)	Coeff. conductivité thermique retenu (W/m.K) (2) - Résistance thermique retenue (m² K/W) (3)	Epaisseur du mur plein (cm)	Coefficient k du mur plein sans isolant (W/m².K)	Epaisseur de l'isolant (en cm) à ajouter pour obtenir :				
					K _{max} (W/m².K)	Nature de l'isolant			
						MW	XPS EPS	PUR	CG PIR
Blocs de terre cuite perforés	1000 à 1600	0.54 (2)	14.00	2.24	0.60	5.49	4.88	4.27	6.71
					0.40	9.24	8.21	7.19	11.29
					0.30	12.99	11.55	10.10	15.88
			19.00	1.86	0.60	5.07	4.51	3.95	6.20
					0.40	8.82	7.84	6.86	10.79
					0.30	12.57	11.18	9.78	15.37
			29.00	1.38	0.60	4.24	3.77	3.30	5.18
					0.40	7.99	7.10	6.22	9.77
					0.30	11.74	10.44	9.13	14.35
					0.30	11.74	10.44	9.13	14.35
Blocs de terre cuite perforés	700 à 1000	0.27 (2)	14.00	1.42	0.60	4.32	3.84	3.36	5.29
					0.40	8.07	7.18	6.28	9.87
					0.30	11.82	10.51	9.20	14.45
			19.00	1.12	0.60	3.49	3.10	2.72	4.27
					0.40	7.24	6.44	5.63	8.85
					0.30	10.99	9.77	8.55	13.43
			29.00	0.79	0.60	1.82	1.62	1.42	2.23
					0.40	5.57	4.95	4.34	6.81
					0.30	9.32	8.29	7.25	11.40
					0.30	9.32	8.29	7.25	11.40
Blocs silico-calcaire creux	1200 à 1700	0.60 (2)	14.00	2.38	0.60	5.61	4.98	4.36	6.85
					0.40	9.36	8.32	7.28	11.44
					0.30	13.11	11.65	10.19	16.02
			19.00	1.98	0.60	5.23	4.65	4.07	6.40
					0.40	8.98	7.98	6.99	10.98
					0.30	12.73	11.32	9.90	15.56
			29.00	1.49	0.60	4.48	3.98	3.49	5.48
					0.40	8.23	7.32	6.40	10.06
					0.30	11.98	10.65	9.32	14.65
					0.30	11.98	10.65	9.32	14.65

(1) La conductivité thermique considérée correspond à celle du matériau sec (voir NBN B 62-002).

(2) Il a été supposé que la face intérieure de la maçonnerie était recouverte d'un enduit à base de plâtre de 10 mm d'épaisseur.

(3) Les matériaux anisotropes (blocs ou briques creuses, matériaux mixtes...) ne peuvent être caractérisés par une conductivité thermique déterminée. Pour ce type de matériau, la norme NBN B 62-002 propose une résistance thermique R_U déduite d'essais.

Qualité de l'exécution

8.1. Généralités

- Les panneaux isolants utilisés pour une isolation par l'intérieur ou par l'extérieur seront manipulés avec précaution et stockés de façon adéquate afin de ne pas présenter de dégradations avant leur mise en œuvre.
- Les panneaux seront posés de manière parfaitement jointive afin d'éviter les discontinuités et la possibilité de circulation d'air extérieur ou d'air intérieur entre l'isolant et la maçonnerie; et ce, respectivement pour les isolations par l'extérieur et par l'intérieur.
- On évitera autant que possible les interruptions de l'isolation au droit de certains détails de construction afin de limiter au maximum les ponts thermiques.

8.2. Isolation par l'intérieur

8.2.1 Pose par collage

8.2.1.1. Préparation du support

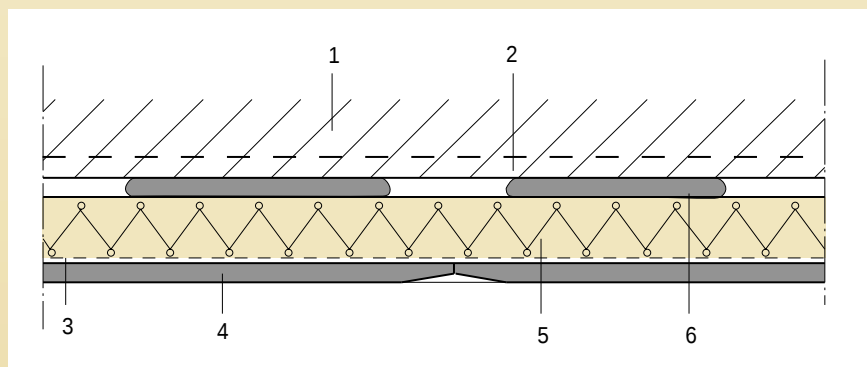
La surface des murs à revêtir doit être propre, saine, sèche, sans poussière ni produit gras (huile de décoffrage, par exemple), ni papier peint, ni peinture. La température du support au moment de la mise en œuvre ne sera pas inférieure à + 5 °C. Les défauts de planéité du support ne doivent pas dépasser 15 mm sur la règle de 2 m.

8.2.1.2. Pose des panneaux

Les panneaux sont découpés à la hauteur du local moins 10 à 15 mm. En fonction du type d'isolant, on traitera ou non le dos des panneaux au moyen d'un primaire; et ce, préalablement à l'application des plots de colle. Ces derniers sont au nombre de $\pm 15/m^2$ et ont une épaisseur qui est fonction de la planéité du mur existant. Les panneaux sont alors dressés, réglés en hauteur et verticalité au moyen de cales et ensuite pressés, contre le mur en les frappant par l'intermédiaire d'une règle en bois (voir figure 22 ci-après).

Figure 22 - Panneaux isolants industrialisés posés par collage

1. mur existant
2. enduit éventuel
3. pare-vapeur
4. plaque plâtre enrobé de carton
5. isolant thermique
6. plot de colle



8.2.1.3. Finitions

Les joints entre panneaux sont refermés et parachevés conformément aux recommandations du fabricant. Dans les pièces humides, il y a lieu de prévoir une protection du pied de la paroi au moyen d'une membrane étanche dissimulée par la plinthe qui est de préférence fixée mécaniquement (voir figure 28).

8.2.2. Pose sur lattes

8.2.2.1. Préparation du support

Des lattes d'une section voisine de 30 * 60 mm sont fixées mécaniquement dans le mur; et ce, avec une entredistance de ± 40 cm. Le réglage des lattes est réalisé au moyen d'un calage (voir figure 23 ci-après). L'espace entre les lattes est rempli au moyen d'un isolant légèrement compressible afin de remplir aussi complètement que possible l'espace disponible entre le mur et le panneau.

8.2.2.2. Pose des panneaux

Comme pour la pose collée, les panneaux sont découpés aux dimensions du local, dressés et réglés contre les tasseaux avant d'être fixés par vissage dans ces derniers.

8.2.2.3. Finitions

La finition se fait de manière similaire à celle des panneaux collés. Pour la fixation d'objets légers, on peut avoir recours à des chevilles à expansion; pour les objets lourds (lavabo – meubles...), il est nécessaire de prévoir un scellement dans le mur avant pose de l'isolation.

Les canalisations éventuelles ne véhiculant pas de fluides sont de préférence encastrées dans le mur, préalablement à la pose de l'isolant; et ce, afin de limiter les fuites convectives d'air intérieur.

Les boîtiers des interrupteurs et prises peuvent être encastrés dans l'isolant et être fixés au panneau de finition. Les canalisations véhiculant des fluides seront disposées dans les murs intérieurs (risque de gel) ou encore dans un espace ménagé à cet effet (voir figure 24 ci-après).

A la périphérie du doublage isolant, le joint doit être resserré au moyen de plâtre ou mieux de mastic afin d'obtenir une bonne étanchéité à l'air.

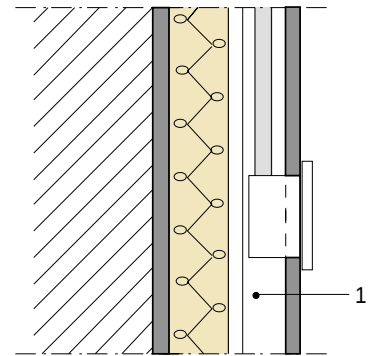
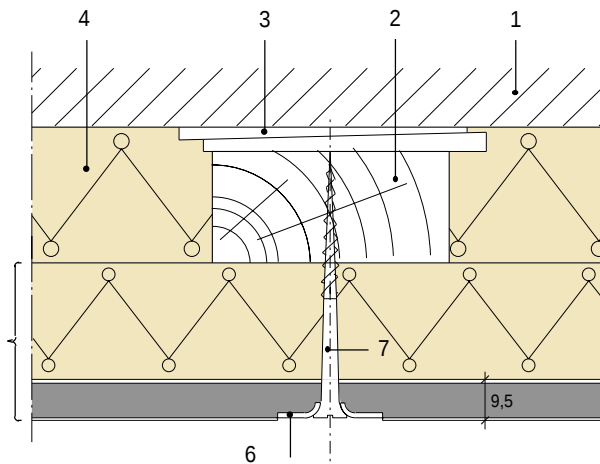


Figure 24 - Espace ménagé entre l'isolant et la finition pour le passage de canalisations

1. coulisserie pour canalisations

Figure 23 - Isolation par l'intérieur avec finition posée sur lattes

1. mur existant
2. latte 30 x 60 mm
3. calage éventuel
4. isolation compressible
5. panneau d'isolation
6. rondelle
7. vis



8.3. Isolation par l'extérieur

8.3.1. Préparation du support

Qu'ils soient neufs ou anciens, les supports doivent présenter une surface sèche, propre et dépoussiérée; en outre, ils doivent être stables (déformations dues au retrait et fluage stabilisé) et ne pas présenter des désaffleurements supérieurs à 1 cm.

Pour les supports anciens recouverts de peinture ou d'un enduit, il y a lieu de vérifier leur bonne adhérence à la maçonnerie sous-jacente et leur compatibilité avec les produits de collage de l'isolant. Toutes les zones pour lesquelles l'adhérence ou la cohésion du support seraient douteuses doivent être consolidées ou décapées et ragrées. Les problèmes éventuels de remontées capillaires doivent avoir été traités et le mur doit être asséché préalablement à la pose de l'isolant.

8.3.2. Pose des panneaux isolants

Le mur à revêtir est en général en premier lieu pourvu d'un profilé de socle fixé mécaniquement dans la maçonnerie à un niveau supérieur d'au moins 20 cm à celui du sol et destiné à supporter la première rangée de panneaux isolants.

Lorsque le support est lisse et plan (pas de défauts de planéité supérieurs à 10 mm sur la règle de 2 m), le produit de collage est appliqué sur l'ensemble du panneau isolant au moyen d'une spatule dentelée.

Si le support est insuffisamment plan (défauts de planéité compris entre 10 et 20 mm/2 m), le produit de collage est appliqué sur les panneaux par bandes et/ou par plots.

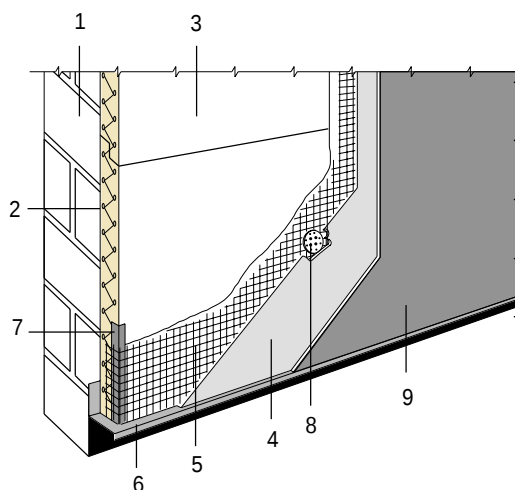
Les panneaux sont alors posés à joints serrés et alternés, de préférence horizontalement en partant du profilé de socle. En les pressant dans l'adhésif frais, on ajuste les panneaux de façon à obtenir une surface plane. On veille à obtenir une surface de contact suffisante (voir valeur proposée dans l'agrément technique) entre le produit de collage et les matériaux à assembler afin que l'ensemble puisse résister aux sollicitations exercées par le vent.

Il y a par ailleurs lieu d'éviter les pénétrations de colle dans les joints entre panneaux isolants, de même que la présence de joints ouverts. Le cas échéant, ceux-ci seront rebouchés avec le matériau isolant ou de la mousse de PUR.

Dans les angles rentrant ou sortant, les panneaux sont également posés à joints alternés. Au droit des raccords du système d'isolation avec les menuiseries, les seuils de fenêtre et autres éléments saillants, les panneaux sont posés de manière telle qu'un joint de 0,5 cm subsiste entre ces éléments et le revêtement.

■ Les joints de dilatation présents dans le support doivent être répercutés dans l'isolation et dans sa protection. Les rives libres des panneaux, ainsi que les bords des joints de mouvement sont protégés par des profilés "ad hoc" faisant partie du système.

■ Pour certains systèmes d'isolation par l'extérieur, et plus particulièrement lorsque le collage ne concerne pas la totalité du panneau isolant ou que le support présente des défauts de planéité, une fixation mécanique complémentaire doit être prévue. Cette dernière est réalisée à l'aide de chevilles spéciales qui doivent être enfoncées sur une profondeur suffisante dans la maçonnerie sous-jacente (voir figure 25 ci-après).



- 1 mur monolithique
- 2 mortier-colle
- 3 plaque isolante
- 4 mortier d'enrobage
- 5 treillis d'armature
- 6 profilé de socle
- 7 cornière d'angle
- 8 cheville d'ancrage
- 9 enduit de finition

Figure 25 - Isolation par l'extérieur revêtue d'un enduit

8.3.3. Réalisation de l'enduit de parement

Après un délai de vieillissement prescrit par le fabricant (24 à 48 h), on applique sur l'ensemble des surfaces un sous-enduit destiné à enrober l'armature. Celle-ci est généralement constituée par un treillis en fibres de verre protégées contre les alcalis, et doit être pressée dans le sous-enduit de manière à se situer à mi-épaisseur de ce dernier.

Au droit des angles de baie, une armature supplémentaire similaire à la précédente, est également disposée dans le prolongement de la diagonale de la baie afin de limiter le risque de fissuration de l'enduit.

Cette armature devra également assurer une continuité avec les profilés de rive et/ou d'angle, dans le but d'éviter une rupture de l'enduit à la jonction avec ces profilés. Quant à l'enduit de finition, il est appliqué après un délai prescrit par le fabricant du système; il permet en général d'obtenir différents états de surface (lissé, frotté, gratté, ...).

Il est vivement déconseillé d'appliquer les enduits minéraux par temps très chaud et/ou venteux.

Les enduits synthétiques seront, quant à eux, appliqués par temps sec.

8.3.4. Bardage

Les différents types de bardage sont à ce point nombreux qu'il n'est pas possible de les aborder dans le présent document. Il y a donc lieu pour leur exécution de se référer aux recommandations des fabricants.

La technique du bardage étant très voisine de celle des murs creux, on peut utilement se référer à la brochure qui traite de ce type de mur pour la réalisation de la pose de l'isolant.

Quelques détails d'exécution

9.1. Isolation thermique et problème d'humidité en pied de façade

Pour limiter les risques de remontées capillaires et de formation de condensation superficielle ou de moisissures, il y a lieu de prendre des dispositions telles que celles préconisées aux figures suivantes.

9.1.1. Murs monolithiques récents

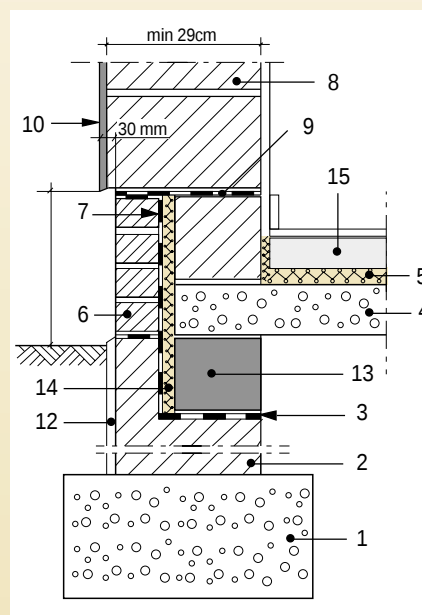


Figure 26 - Mur massif avec cave ou vide sanitaire

1. fondation
2. mur de fondation
3. membrane d'étanchéité
4. plancher porteur
5. isolation thermique
6. plinthe en maçonnerie
7. membrane d'étanchéité
8. mur plein en élévation

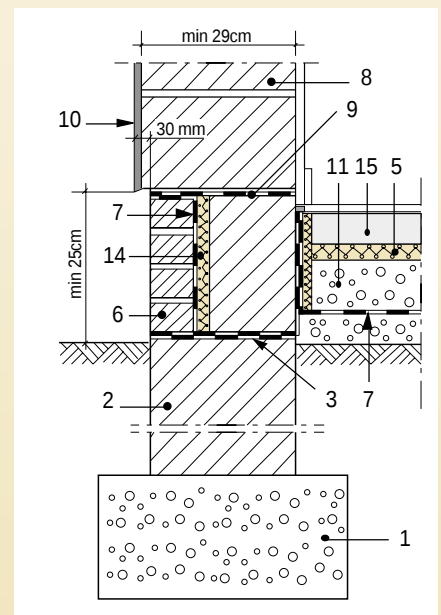


Figure 27 -Mur massif sans cave ni vide sanitaire

9. membrane d'étanchéité
10. enduit extérieur
11. dalle de fondation
12. enduit de protection
13. bloc en béton ou verre cellulaire
14. XPS
15. chape

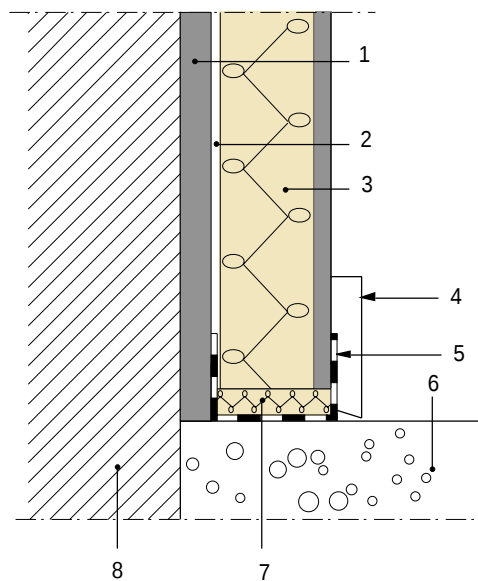
9.1.2. Mur plein isolé par l'intérieur

Figure 28 - Raccord entre l'isolation par l'intérieur et le plancher

1. enduit existant
2. mortier colle
3. panneau isolant
4. plinthe
5. film PE
6. plancher
7. laine minérale
8. mur existant

Remarque :

Un pont thermique subsiste à la jonction entre le plancher et le mur.



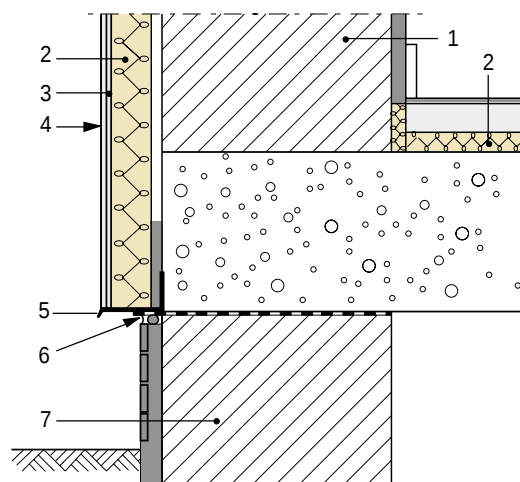
9.1.3. Mur plein isolé par l'extérieur

Figure 29 - Exécution courante de l'isolation par l'extérieur en pied de façade

1. maçonnerie monolithique
2. panneaux d'isolation
3. sous-enduit + armature
4. enduit de finition
5. profilé de socle en métal
6. joint d'étanchéité
7. socle existant

Remarque :

Ce type de réalisation est tel qu'un léger pont thermique subsiste dans l'angle entre le plancher et le mur en élévation. Pour éliminer complètement ce pont thermique, il est recommandé de procéder comme à la figure 30 ci-après.



Remarque :

Si la température susceptible de régner dans le vide sanitaire ou la cave est voisine de celle de l'air extérieur, il est recommandé d'isoler également la face inférieure du plancher et la maçonnerie sur une hauteur similaire à celle adoptée pour l'extérieur, c'est-à-dire * 30 cm.

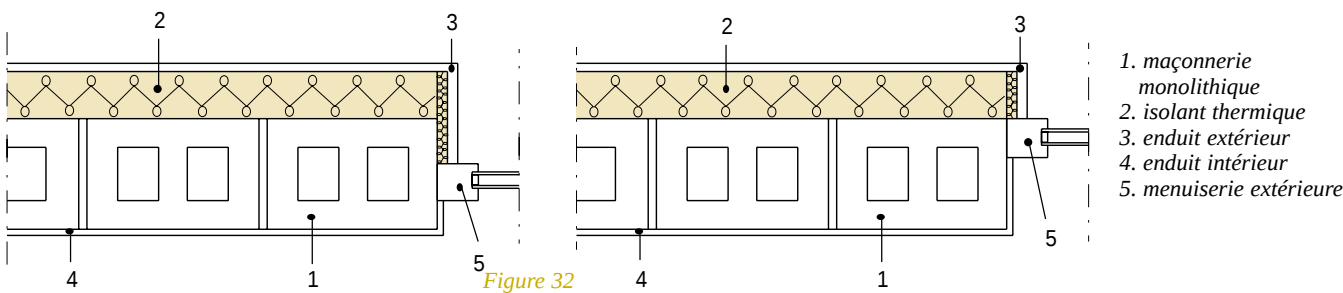
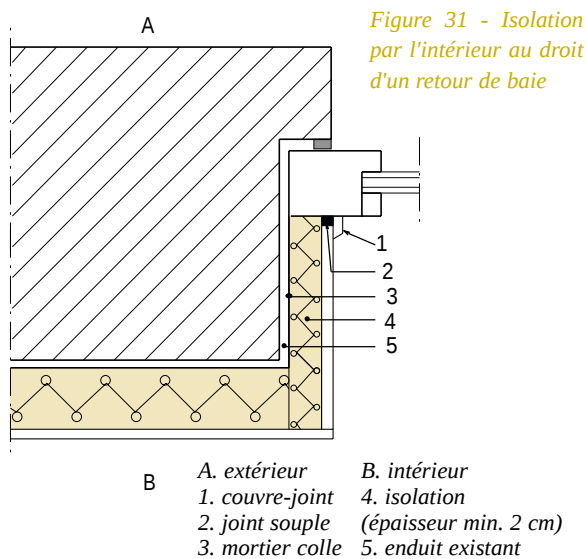
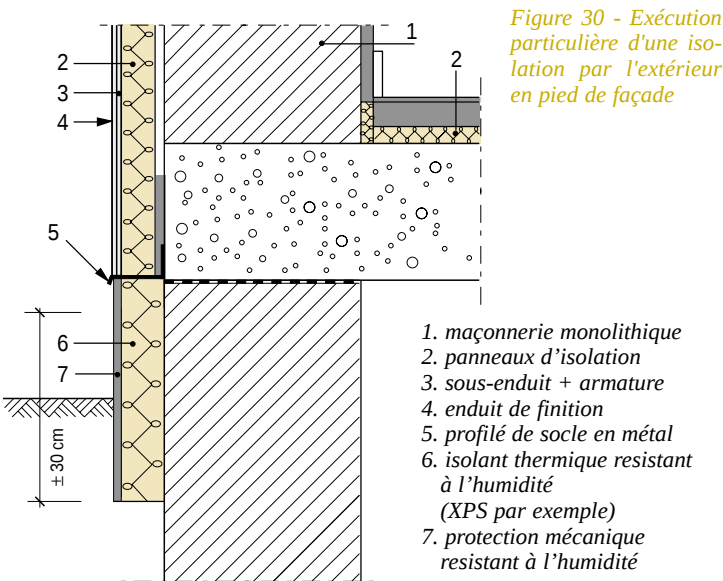
9.2. Retour de baie

9.2.1. Isolation par l'intérieur

Pour limiter le risque de condensation au droit des retours de baie, l'isolation doit être prolongée jusqu'à la menuiserie (voir figure 31 ci-après).

9.2.2. Isolation par l'extérieur

Si l'isolation par l'extérieur permet dans pratiquement tous les cas d'assurer une température superficielle intérieure suffisante pour limiter le risque de condensation au voisinage immédiat de la menuiserie, il est néanmoins recommandé d'opter pour les solutions schématisées aux figures 32 a et 32 b ci-après.



a - Menuiserie posée en recul par rapport au plan de la maçonnerie

b - Menuiserie posée dans le plan de la maçonnerie

Remarque :

Les performances thermiques de la solution b sont légèrement supérieures à celles de la solution a.

9.3. Seuils de fenêtre

9.3.1. Isolation par l'intérieur

Les seuils de fenêtre constituent inévitablement un pont thermique si la tablette de fenêtre ne peut être posée sur un isolant thermique ou si celle-ci n'est pas remplacée par un élément en bois par exemple (voir figure 33 ci-contre).

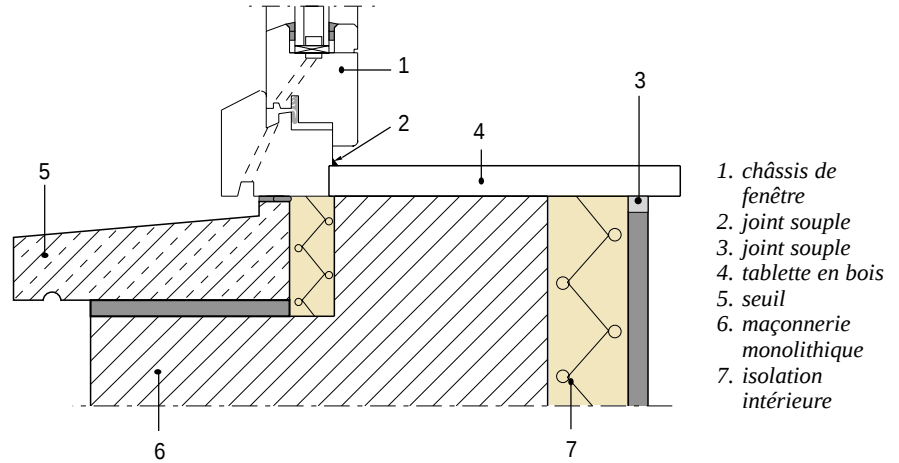


Figure 33 - Isolation par l'intérieur au droit d'un seuil de fenêtre

9.3.2. Isolation par l'extérieur

- | | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1. maçonnerie monolithique | 5. seuil en aluminium |
| 2. panneaux d'isolation | 6. joint d'étanchéité + fond de joint |
| 3. sous-enduit + armature | 7. seuil de fenêtre existant |
| 4. enduit de finition | |

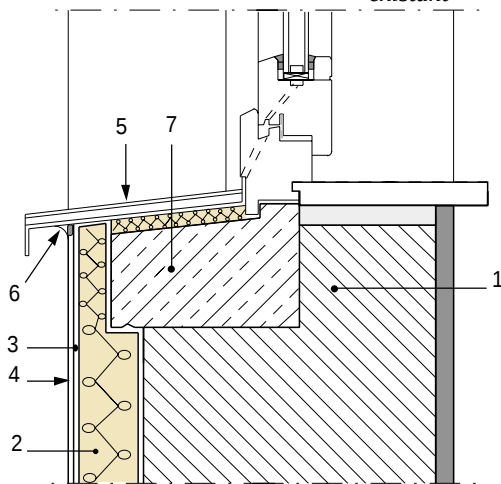


Figure 34 - Isolation par l'extérieur au droit d'un seuil de fenêtre existant

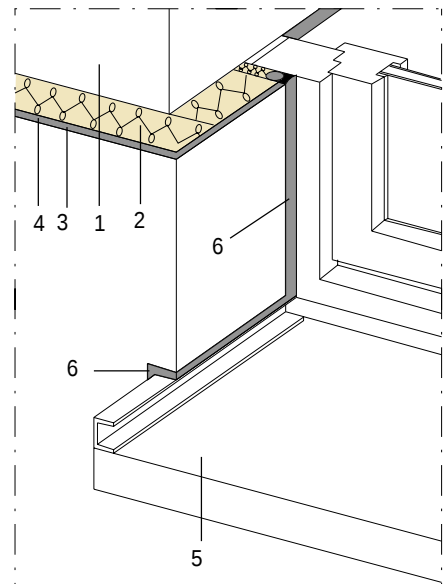


Figure 35 - Isolation par l'extérieur - Raccord du seuil avec l'isolation

9.4. Linteaux de baies

Selon que l'isolation thermique est rapportée par l'intérieur ou par l'extérieur, on se référera respectivement aux dispositions proposées pour les retours de baie au § 9.2.1. et § 9.2.2.

Contrairement au cas du mur creux, il n'y a en effet pratiquement pas de différence entre ces deux situations puisqu'il n'y a pas de drainage de coulisse à réaliser.

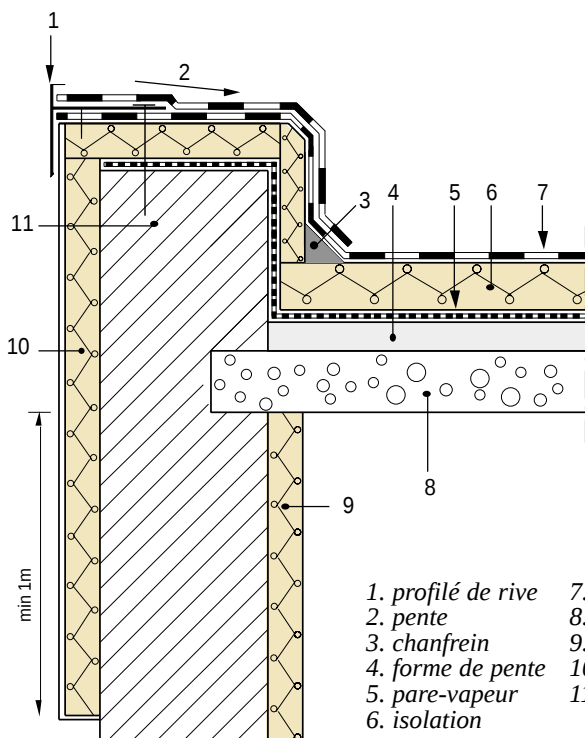


Figure 36 - Isolation par l'intérieur - Jonction avec une toiture plate

9.5. Rives de toiture

9.5.1. Isolation par l'intérieur

Si le plancher des combles ou de la toiture plate est constitué par une dalle de béton ou des hourdis, il n'est pratiquement pas possible d'éliminer le pont thermique présent à la jonction avec la façade sans prévoir une isolation par l'extérieur sur une partie de cette dernière (voir figures 36 et 37).

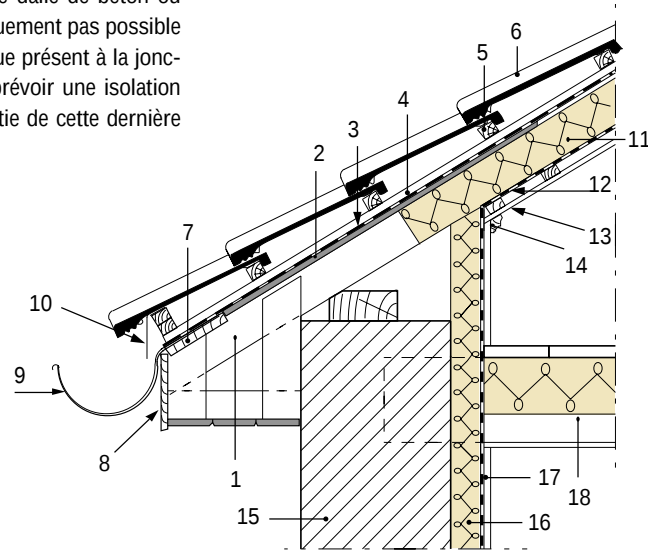


Figure 37 - Isolation par l'intérieur - Jonction avec une toiture à versants

1. chevron ou fermette
2. voligeage éventuel
3. sous-toiture étanche à l'eau
4. contre-latte
5. liteau
6. tuile
7. planche de pied, de préférence dans le même plan que le bord supérieur des chevrons ou fermettes
8. planche de rive frontale
9. chéneau
10. bande de protection de la latte de pied
11. isolation de la toiture
12. pare-vapeur
13. plafond
14. moulure décorative
15. mur plein
16. isolation intérieure
17. finition intérieure
18. plancher en bois

Pour les toitures à versants, une solution similaire à celle de la toiture plate doit être recherchée de façon à ce que les isolations intérieures et extérieures se chevauchent sur ± 1 m.

Si le plancher des combles ou de la toiture plate est constitué par un plancher en bois, on peut envisager de réaliser une continuité entre l'isolation du mur et celle de la toiture.

Pour les rives latérales, on s'inspirera des solutions proposées pour les pieds de versant.

9.5.2. Isolation par l'extérieur

Pour les toitures plates, le raccord entre l'isolation de toiture et celle des façades est schématisé à la figure 38 ci-dessous.

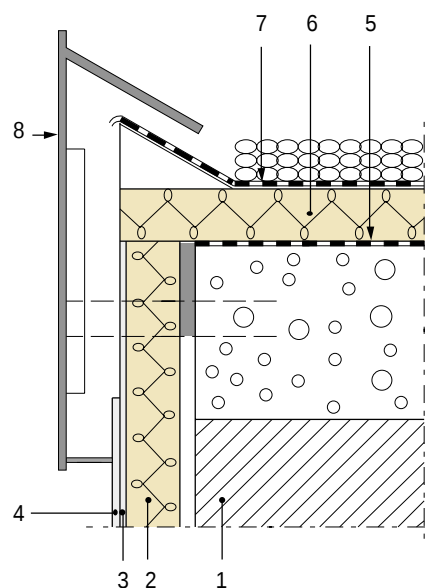


Figure 38 - Isolation par l'extérieur - Jonction avec une toiture plate

Pour les toitures à versants, la continuité avec l'isolation de la façade est assurée de la manière schématisée à la figure 39 ci-après.

9.6. Balcons

Si les balcons ne disposent pas d'une coupure thermique (voir brochure "Le mur creux"), ils constituent un pont thermique; et ce, que l'isolation soit rapportée par l'extérieur ou par l'intérieur.

On peut toutefois considérer qu'une isolation par l'extérieur contribue à atténuer sensiblement le risque de condensation à la jonction façade – balcon, même si celui-ci est directement solidaire du plancher intérieur.

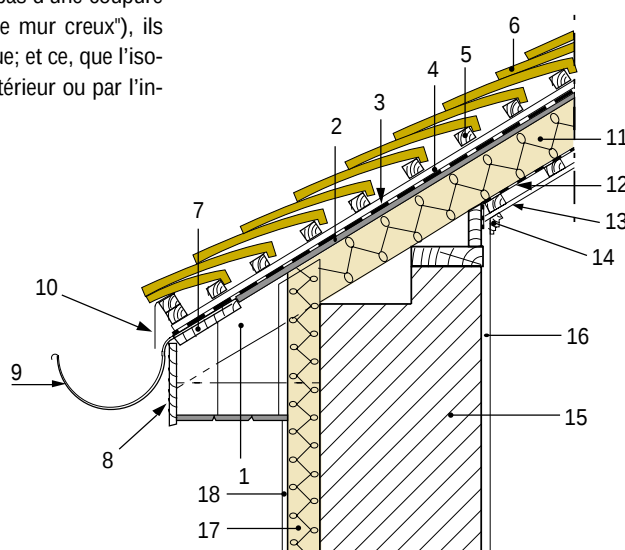


Figure 39 - Isolation par l'extérieur - Jonction avec une toiture à versants

1. chevron ou fermette
2. voligeage éventuel
3. sous-toiture étanche à l'eau
4. contre-latte
5. liteau
6. tuile
7. planche de pied, de préférence dans le même plan que le bord supérieur des chevrons ou fermettes
8. planche de rive frontale
9. chéneau
10. bande de protection de la latte de pied
11. isolation de la toiture
12. pare-vapeur
13. plafond
14. moulure décorative
15. mur plein
16. enduit intérieure
17. isolation extérieure
18. sous-enduit + enduit de finition

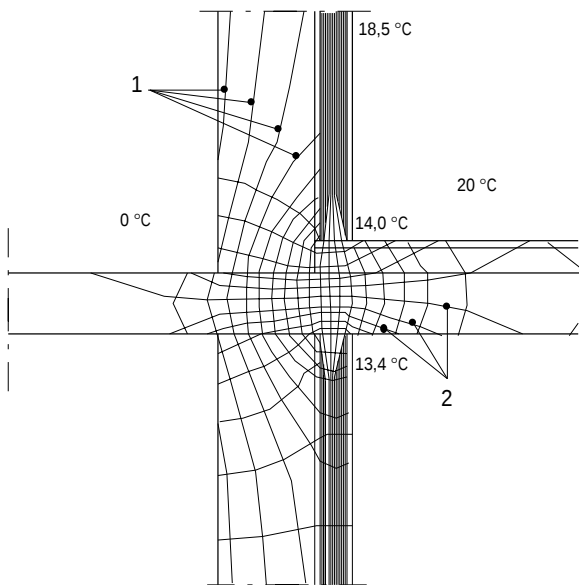


Figure 40 - Balcon - Isolation par l'intérieur

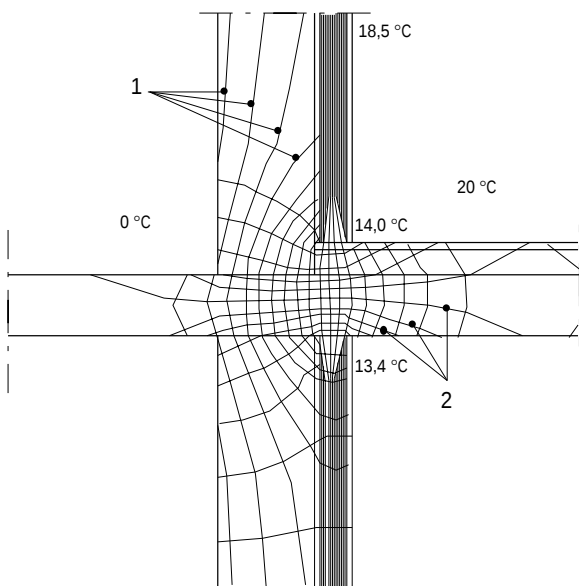


Figure 41 - Balcon - Isolation par l'extérieur

La figure n° 41 montre en effet que pour une isolation par l'extérieur le facteur τ est supérieur à 0,7, tandis que pour l'isolation intérieure (voir figure n° 40) τ est $\leq$ à 0,7. Pour plus d'explications au sujet du facteur de température τ voir § 4.1.

Une solution plus performante tout en restant économique réside dans la pose du balcon sur des consoles (voir figure 42 ci-dessous).

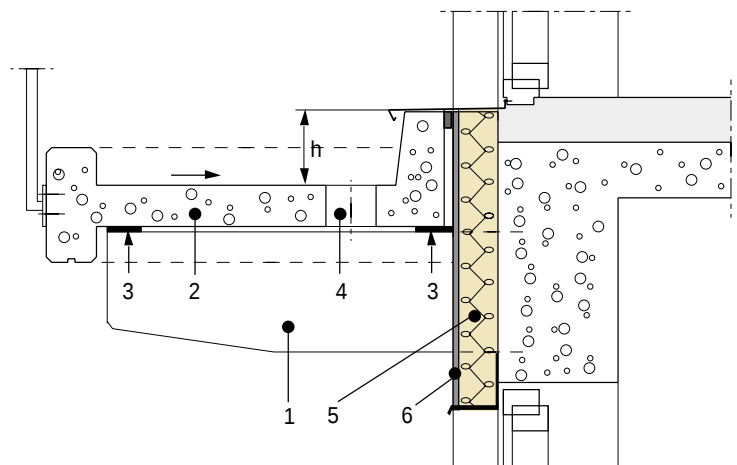


Figure 42 - Eléments de balcon posés sur consoles

1. console en béton armé
2. élément de balcon préfabriqué en béton armé
3. appuis souples en matière synthétique
4. orifice de passage pour l'avaloir de balcon
5. isolation thermique par l'extérieur
6. enduit extérieur ou bardage

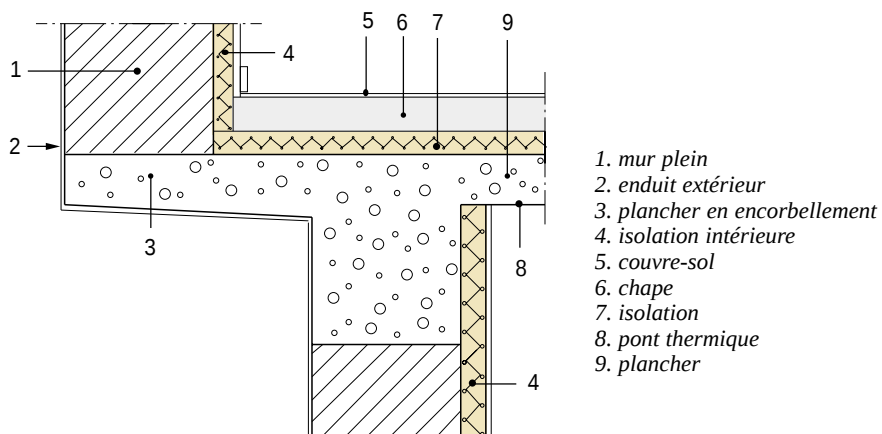


Figure 43 - Isolation par l'intérieur au droit d'un encorbellement

9.7. Construction en encorbellement

9.7.1. Isolation par l'intérieur

Il ressort de la figure n° 43 que si le pont thermique est éliminé à l'étage en assurant une continuité entre l'isolant du mur et celui du plancher, il n'en va pas de même au niveau inférieur.

9.7.2. Isolation par l'extérieur

Dans ce cas, le pont thermique est complètement éliminé (figure n° 44).

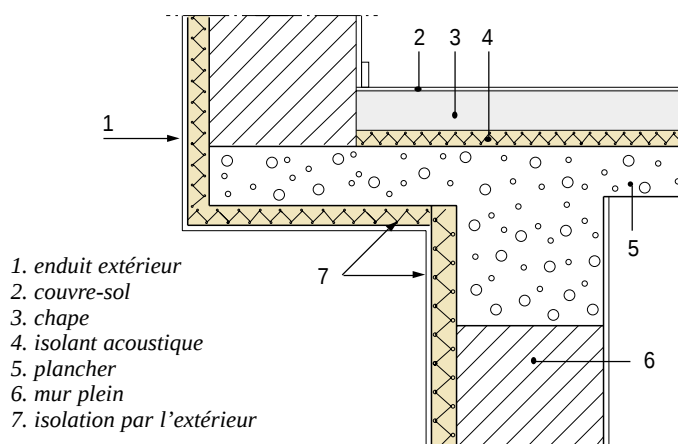


Figure 44 - Isolation par l'extérieur au droit d'un encorbellement

9.8. Joints de mouvement

Lorsqu'une façade est isolée par l'extérieur et revêtue d'un enduit, les joints de dilatation ou de tassement du bâtiment peuvent être exécutés comme schématisé aux figures reprises ci-après.

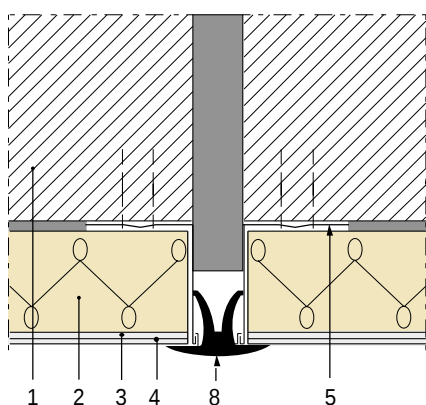


Figure 45 - Isolation par l'extérieur - Joint de mouvement en parties courantes

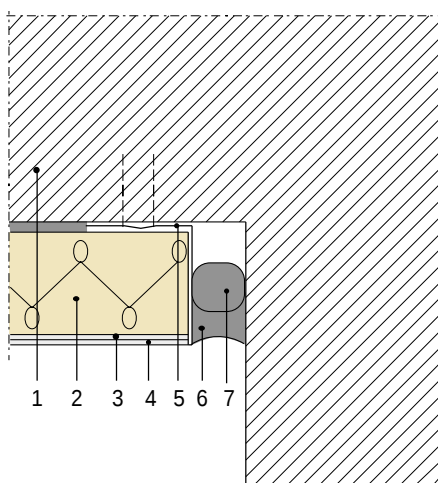


Figure 47 - Isolation par l'extérieur - Raccord avec une paroi adjacente

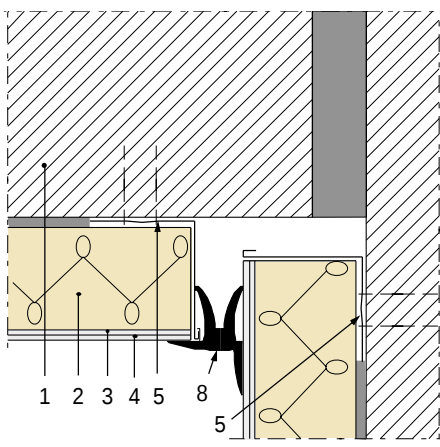


Figure 46 - Isolation par l'extérieur - Joint de mouvement dans un angle

1. maçonnerie monolithique
2. plaques d'isolation
3. sous-enduit + armature
4. enduit de finition
5. profil protecteur
6. joint élastique d'étanchéité
7. fond de joint
8. joint mécanique

Conclusion

■ L'isolation thermique des façades a pour but :

- de réduire les déperditions calorifiques et la consommation d'énergie et, par voie de conséquence, d'améliorer l'environnement en diminuant la pollution;
- d'apporter un meilleur confort thermique.

■ L'évolution de la conception des murs de façade a fait que les murs pleins traditionnels (en briques ou en pierre) ont été abandonnés au profit des murs creux ou des murs monolithiques constitués de blocs de grand format en matériaux légers. La nécessité d'atteindre des performances thermiques meilleures a fait que les murs pleins, à l'exception des maçonneries en blocs de béton cellulaire de forte épaisseur (épaisseur ≥ 29 cm), nécessitent l'apport d'une isolation thermique complémentaire qui peut être disposée à la face intérieure ou extérieure du mur.

■ Les caractéristiques des matériaux mis en œuvre doivent être telles que :

- ceux qui sont exposés aux intempéries sont résistants à l'humidité et au gel et sont performants du point de vue mécanique (résistance à la fissuration, aux chocs, ...);

- ceux qui sont destinés à l'isolation thermique disposent d'un coefficient de conductivité thermique $\lambda \leq 0,065$ W/m.K et de propriétés hydriques adéquates, ainsi que d'une stabilité dimensionnelle satisfaisante.

■ Le comportement hygrothermique des murs pleins se caractérise comme suit :

- **les murs pleins traditionnels** ne garantissent pas l'étanchéité aux pluies, ne sont pas performants du point de vue isolation thermique, et s'ils sont susceptibles d'assurer un certain confort en été, ils sont souvent le siège de condensations superficielles et de remontées capillaires;
- **les murs monolithiques récents** en blocs de grand format ne sont étanches aux pluies battantes que s'ils sont protégés par un enduit extérieur efficace. Leurs performances du point de vue isolation thermique sont le plus souvent insuffisantes ou à la limite des exigences et le confort thermique qu'ils permettent d'atteindre n'est pas toujours optimal. Seules les maçonneries en blocs légers sont aptes à éviter la formation de condensation superficielle, mais leur séchage après la construction peut être lent;
- **les murs pleins isolés par l'intérieur**

doivent nécessairement être protégés des pluies par un revêtement performant. L'isolation intérieure permet de réduire très sensiblement les déperditions calorifiques, mais ne contribue certainement pas à l'obtention d'un confort d'été satisfaisant et augmente les sollicitations hygrothermiques de la maçonnerie.

Quant aux risques de condensation superficielle (pont thermique à la jonction avec les parois adjacentes) et de condensation interne, ils sont réels si des précautions ne sont pas prises lors de l'exécution; cette solution ne doit être retenue que lors de travaux de rénovation et pour autant qu'une isolation par l'extérieur ne soit pas possible.

- **le mur plein isolé par l'extérieur** est de loin celui qui offre le plus de garanties si le système d'isolation dispose d'un agrément technique ou s'il est protégé par un bardage. En effet, le mur est nécessairement à l'abri des pluies, le niveau d'isolation thermique est performant et le comportement du bâtiment est tel que le confort thermique peut être aisément atteint en été comme en hiver. Les risques de condensations superficielles et internes sont pratiquement exclus et le séchage du mur n'est pas entravé.

■ Le traitement des murs au moyen d'une peinture ou d'un hydrofuge peut en améliorer le comportement vis-à-vis de l'humidité sans toutefois apporter toutes les garanties. Quant aux enduits, ils doivent être choisis, judicieusement en fonction de leur destination et du niveau de sollicitation.

■ Le nouveau règlement thermique wallon est applicable aux constructions neuves et rénovées destinées au logement et à l'hébergement, ainsi qu'aux écoles et bureaux. Les exigences requises sont les suivantes :

- pour les maisons neuves, le niveau d'isolation thermique global est $\leq K 55$ ou les besoins nets en énergie $< b_{e450}$;
- pour les rénovations avec changement de fonction, le niveau d'isolation est $\leq K 65$;
- pour les murs de façade, le coefficient de transmission thermique k_{max} est $\leq 0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ pour les logements neufs ou rénovés.

Le règlement prévoit également des dispositions pour la ventilation des bâtiments :

■ Le niveau d'isolation vers lequel il faut tendre :

- est tel que le seul respect des valeurs k_{max} ne mène pas nécessairement à l'obtention d'un niveau global d'isolation $K 55$;
- pour les murs de façade, devrait avoir $k = 0,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ et représente, pour les compositions de mur habituelles, une épaisseur d'isolant $\geq 8 \text{ cm}$.

■ Les performances atteintes par une isolation intérieure et a fortiori par une isolation extérieure, seront largement tributaires du soin apporté à l'exécution. C'est pourquoi, il y a lieu lors de cette dernière de suivre très scrupuleusement les directives des agréments techniques en la matière. Ces performances seront également fonction de l'adaptation du système d'isolation au droit des différents détails de construction.

■ Lors de la conception et de l'exécution de l'isolation, on veillera à :

- assurer une parfaite continuité de l'isolant;
- éviter la circulation d'air intérieur ou extérieur entre l'isolant et son support;
- faciliter le séchage de la maçonnerie;
- limiter les ponts thermiques.

Bibliographie

- Agréments techniques de systèmes d'isolation par l'intérieur et par l'extérieur.
- Aspects des enduits hydrauliques extérieurs - CSTC-Magazine 3/1993.
- "Buitenwandoplossingen voor de residentiële bouw : massieve buitenwanden met buitenisolatie".
- CSTC
NIT153 Problèmes d'humidité dans les bâtiments, 1984.
- CSTC
NIT 162 – Les procédés de traitement des maçonneries contre l'humidité ascendante, 1985.
- CSTC
NIT 191 La toiture plate: exécution des ouvrages de raccord, 1994.
- CSTC
NIT 196 Les Balcons, 1995.
- IBN
NBN B 62-002 Calcul des coefficients de transmission thermique des parois des bâtiments, 1987.
- Intensité de la pluie battante et pression du vent sur les façades - CSTC-Revue n° 2/ 1979.
- Le mur plein – programme RD énergie. Services de programmation de la politique scientifique (SPPS), 1984.
- Les enduits extérieurs.
Fédération de l'Industrie Cimentière, fiche n° 12.
- "Massieve buitenwanden met binnenisolatie" - programme RD énergie. Services de programmation de la politique scientifique (SPPS), 1986.
- Protection des maçonneries contre les remontées capillaires : injection de produits hydrofuges - CSTC-magazine n° 2/ 1993.

La réalisation de cette brochure a été confiée au

Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC)
Etablissement reconnu en application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947
21-23, rue de la Violette
B-1000 Bruxelles.

Rédaction : M. Wagneur

Dessins techniques : Serge Peeters et Walter Verbesselt

Réalisation graphique et mise en pages : Robert Roodenburg

Comité de lecture et supervision :

- Myriam Hay, consultante au Guichet de l'Energie d'Ottignies
- Lutgarde Neirinckx, ingénieur, Styfabel (auteur de la version précédente);
- J.M. Guillemeau - CIFFUL;
- J. Uyttenbroeck - directeur scientifique au CSTC
- la Division de l'Energie du Ministère de la Région Wallonne.

Brochure disponible sur simple demande au :

Ministère de la Région Wallonne
DGTRE - Division de l'Energie
Avenue prince de Liège, 7
B-5100 Namur

ou aux Guichets de l'Energie de votre région.

Le téléphone vert du Ministère de la Région Wallonne (08001-1901, appel gratuit)
vous informera de leurs coordonnées.

Dépôt légal : D/1998/5322/12

*Ministère de la Région Wallonne,
Direction générale des Technologies, de la Recherche et de l'Energie.
Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC).
Centre interdisciplinaire de formation de formateurs de l'Université de Liège.*



DIRECTION GENERALE
DES TECHNOLOGIES
DE LA RECHERCHE ET DE L'ENERGIE

Avenue Prince de Liège 7 - B-5100 Namur



Tél. 081-32.15.69 - Fax 081-30.66.00