

Université de Gent
Faculté des Sciences Appliquées

Section Architecture et Urbanisme

Isolation des murs creux

par

Jeroen Meeusen

Promoteur : prof. dr. ir.-arch. A. Janssens

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade d'ingénieur civil en construction

Année académique 2005-2006

3.3. Conditions auxquelles les murs creux existants doivent répondre

3.3.1. Ponts thermiques

Dans beaucoup de recommandations (que l'on peut trouver dans les ATG, agréments techniques ou sur les sites web), on peut lire que l'isolation d'un espace vide est à déconseiller lorsque la façade contient des ponts thermiques, et qu'il faut tout d'abord supprimer ces ponts thermiques avant de passer au remplissage de cet espace.

La suppression de ponts thermiques est dans beaucoup de cas une intervention particulièrement conséquente et donc très coûteuse.

Après remplissage du vide, la différence de température entre le pont thermique et la surface intérieure pourrait être très grande, ce qui serait inacceptable et pourrait engendrer plus de fissurations, des problèmes d'adhésion, de la condensation de surface et de la moisissure. Certains parlent alors de « renforcement de l'effet du pont thermique ». C'est ce que nous allons tenter de vérifier ici.

La différence de température entre le pont thermique et le reste de la surface intérieure n'entre en ligne de compte que pour les problèmes de fissurations, et pas pour la formation de condensation. En effet, il n'y aura condensation que lorsque la température de la paroi intérieure au niveau du pont thermique aura atteint un niveau tellement bas que la pression de vapeur sera plus faible que la pression de vapeur à l'intérieur de l'habitation.

Nous utiliserons le facteur de température f pour déterminer quand il y a effectivement risque de moisissure. La formule suivante doit s'appliquer à chaque point de la surface intérieure :

$$f = \frac{\Theta_{si} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e} \geq 0,7 \quad (3)$$

Θ_{si} = température de la surface intérieure

Θ_e = température extérieure

Θ_i = température intérieure

Nous allons analyser quelques ponts thermiques typiques à l'aide du programme informatique Kobra, avant et après le remplissage du vide avec de la laine minérale

($\lambda = 0,045 \text{ W/(m.K)}$).⁽¹²⁾

La paroi extérieure (briques pleines, $\lambda = 0,900 \text{ W/(m.K)}$), le vide ventilé et la paroi intérieure (briques perforées, $\lambda = 0,430 \text{ W/(m.K)}$) ont une largeur respective de 9cm, 6cm et 14cm.

Nous partons d'une température extérieure et intérieure de respectivement 0 et 20°. Ces conditions de température n'ont aucune influence sur le facteur de température f .

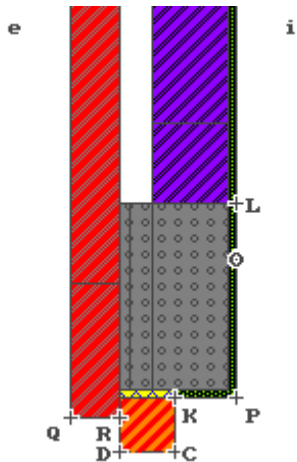
12. Par prudence, nous avons décidé de prendre une valeur de 0,045 W/(m.K) pour nos calculs. Dans la pratique, une valeur λ aussi basse est rarement réalisable pour l'isolation d'un mur existant.

Pour le calcul de la conductivité thermique d'un vide ventilé, Kobra utilise la norme PrEN 30077 (actuellement remplacée par PrEN ISO 10077).

Le point le plus froid dans le détail de construction ci-après est toujours indiqué par le point O.

La différence de température entre le mur intérieur (en-dehors de la zone d'influence du pont thermique) et le point le plus froid côté intérieur du pont thermique est appelée $\Delta_{\text{mur-froid}}$.

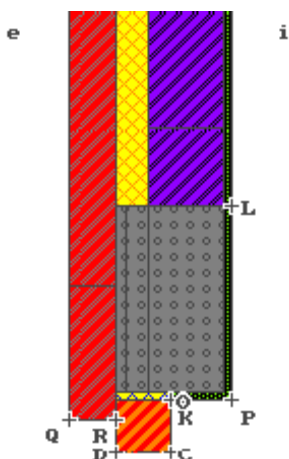
- linteau (une poutre de béton d'une hauteur de 35cm, en contact avec la paroi extérieure du mur creux) :



K : $f(0.20) = 0.60$ $\Theta = 12.1^\circ\text{C}$
 L : $f(0.20) = 0.61$ $\Theta = 12.2^\circ\text{C}$
 O : $f(0.20) = 0.59$ $\Theta = 11.7^\circ\text{C}$

pas bon : risque modéré (C60)
 pas bon : risque modéré (C60)
 pas bon : risque élevé (C00)

$\Delta_{\text{mur-froid}} = 2,8^\circ\text{C}$

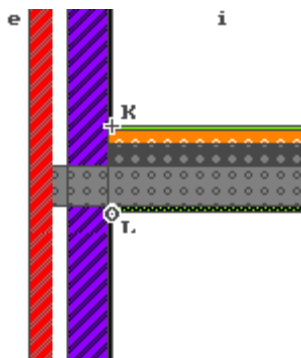


K :	$f(0.20) = 0.62$	$\Theta = 12.4^{\circ}\text{C}$	pas bon : risque modéré (C60)
L :	$f(0.20) = 0.66$	$\Theta = 13.3^{\circ}\text{C}$	pas bon : risque modéré (C65)
O :	$f(0.20) = 0.61$	$\Theta = 12.2^{\circ}\text{C}$	pas bon : risque modéré (C60)

$\Delta_{\text{mur-froid}} = 5,8^{\circ}\text{C}$

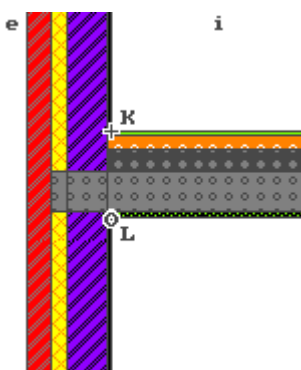
Nous constatons que le point le plus froid O se déplace après isolation. Les facteurs de température augmentent légèrement après isolation, mais restent trop faibles pour éviter la formation de condensation.

- chape de sol (chape en béton d'une épaisseur de 15cm) :



K :	$f(0.20) = 0.70$	$\Theta = 14.1^{\circ}\text{C}$	bon : risque peu élevé (C70)
L :	$f(0.20) = 0.65$	$\Theta = 12.9^{\circ}\text{C}$	pas bon : risque modéré (C60)
O :	$f(0.20) = 0.65$	$\Theta = 12.9^{\circ}\text{C}$	pas bon : risque modéré (C60)

$\Delta_{\text{mur-froid}} = 1,5^{\circ}\text{C}$

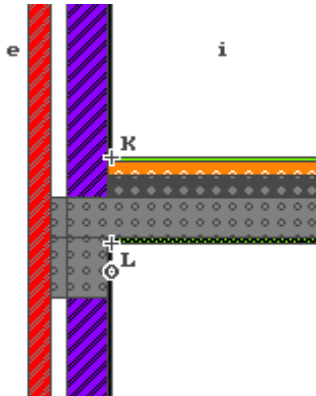


K :	$f(0.20) = 0.83$	$\Theta = 16.6^{\circ}\text{C}$	bon : risque minimal (C80)
L :	$f(0.20) = 0.75$	$\Theta = 15.0^{\circ}\text{C}$	bon : risque minimal (C70)
O :	$f(0.20) = 0.75$	$\Theta = 15.0^{\circ}\text{C}$	bon : risque minimal (C70)

$\Delta_{\text{mur-froid}} = 3^{\circ}\text{C}$

Les facteurs de température augmentent après isolation, à tel point que l'on remplit la condition (3).

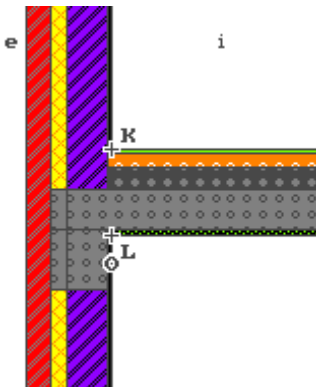
- chape de sol (chape en béton d'une épaisseur de 15 cm et poutre en béton d'une hauteur de 35cm)



K : $f(0.20) = 0.71$ $\Theta = 14.1^\circ\text{C}$
 L : $f(0.20) = 0.60$ $\Theta = 12.0^\circ\text{C}$
 O : $f(0.20) = 0.57$ $\Theta = 11.4^\circ\text{C}$

bon : risque peu élevé (C70)
 pas bon : risque modéré (C60)
 pas bon : risque élevé (C00)

$\Delta\text{mur-froid} = 3^\circ\text{C}$



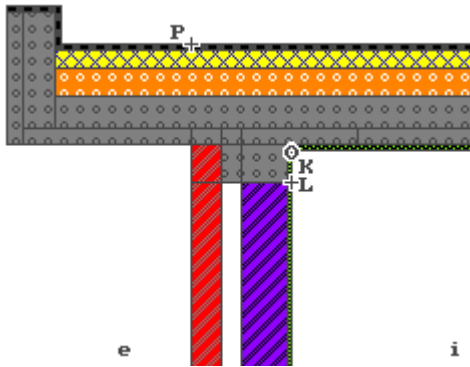
K : $f(0.20) = 0.81$ $\Theta = 16.3^\circ\text{C}$
 L : $f(0.20) = 0.66$ $\Theta = 13.3^\circ\text{C}$
 O : $f(0.20) = 0.64$ $\Theta = 12.8^\circ\text{C}$

bon : risque minimal (C80)
 pas bon : risque modéré (C65)
 pas bon : risque modéré (C60)

$\Delta\text{mur-froid} = 5,2^\circ\text{C}$

Les facteurs de température augmentent moins vite que pour le point précédent.

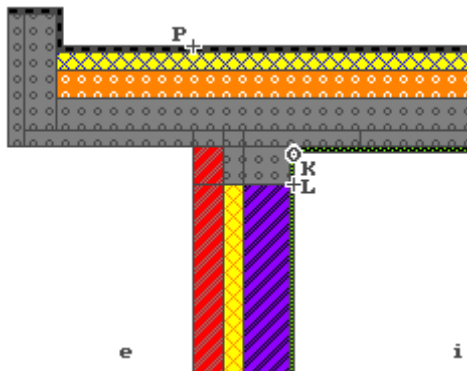
- bordure de toit (dalle de toit en béton d'une épaisseur de 15cm) :



K : $f(0.20) = 0.57$ $\Theta = 11.3^\circ\text{C}$
 L : $f(0.20) = 0.60$ $\Theta = 12.1^\circ\text{C}$
 O : $f(0.20) = 0.57$ $\Theta = 11.3^\circ\text{C}$

pas bon : risque élevé (C00)
 pas bon : risque modéré (C60)
 pas bon : risque élevé (C00)

$\Delta_{\text{mur-froid}} = 3,1^\circ\text{C}$



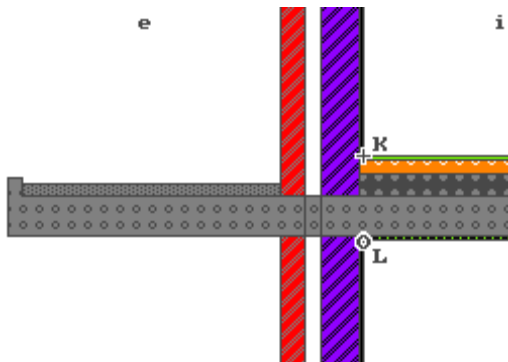
K : $f(0.20) = 0.60$ $\Theta = 12.0^\circ\text{C}$
 L : $f(0.20) = 0.65$ $\Theta = 13.1^\circ\text{C}$
 O : $f(0.20) = 0.60$ $\Theta = 12.0^\circ\text{C}$

pas bon : risque élevé (C00)
 pas bon : risque modéré (C65)
 pas bon : risque élevé (C00)

$\Delta_{\text{mur-froid}} = 6^\circ\text{C}$

Les facteurs de température augmentent légèrement, mais le risque de condensation existe toujours.

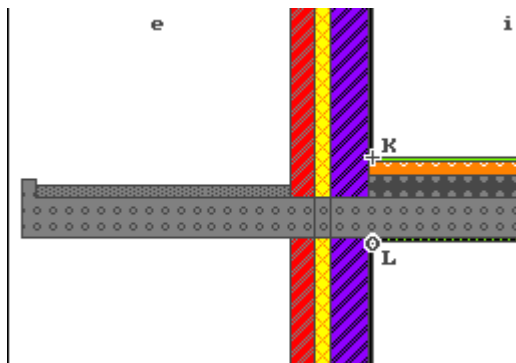
- balcon (dalle de béton d'une épaisseur de 15cm) :



K : $f(0.20) = 0.71$ $\Theta = 14.2^\circ\text{C}$
 L : $f(0.20) = 0.64$ $\Theta = 12.7^\circ\text{C}$
 O : $f(0.20) = 0.64$ $\Theta = 12.7^\circ\text{C}$

bon : risque peu élevé (C70)
 pas bon : risque modéré (C60)
 pas bon : risque modéré (C60)

$\Delta_{\text{mur-froid}} = 1,7^\circ\text{C}$



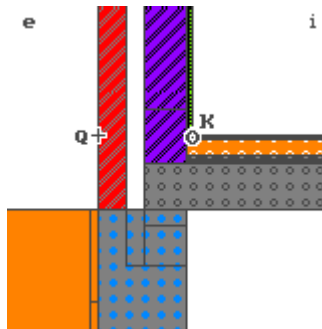
K : $f(0.20) = 0.82$ $\Theta = 16.4^\circ\text{C}$
 L : $f(0.20) = 0.72$ $\Theta = 14.5^\circ\text{C}$
 O : $f(0.20) = 0.72$ $\Theta = 14.5^\circ\text{C}$

bon : risque minimal (C80)
 bon : risque peu élevé (C70)
 bon : risque peu élevé (C70)

$\Delta_{\text{mur-froid}} = 3,5^\circ\text{C}$

Les facteurs de température augmentent et permettent de remplir la condition (3)

- jonction entre le mur creux, le sol (d'une épaisseur de 15cm) et les fondations :

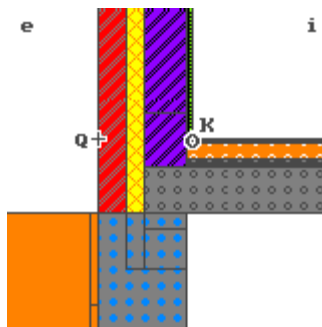


$$K : f(0.20) = 0.61 \quad \Theta = 12.3^{\circ}\text{C}$$

$$O : f(0.20) = 0.61 \quad \Theta = 12.3^{\circ}\text{C}$$

pas bon : risque modéré (C60)
pas bon : risque modéré (C60)

$$\Delta_{\text{mur-froid}} = 3,8^{\circ}\text{C}$$



$$K : f(0.20) = 0.68 \quad \Theta = 13.5^{\circ}\text{C}$$

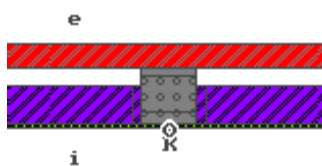
$$O : f(0.20) = 0.68 \quad \Theta = 13.5^{\circ}\text{C}$$

pas bon : risque modéré (C65)
pas bon : risque modéré (C65)

$$\Delta_{\text{mur-froid}} = 5,2^{\circ}\text{C}$$

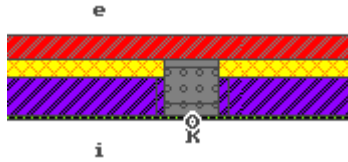
Le facteur de température augmente, le risque de condensation existe toujours, mais diminue.

- colonne intégrée (béton armé d'une largeur de 20cm) :



K : $f(0.20) = 0.56$ $\Theta = 11.1^\circ\text{C}$ pas bon : risque élevé (C00)
 O : $f(0.20) = 0.56$ $\Theta = 11.1^\circ\text{C}$ pas bon : risque élevé (C00)

$\Delta\text{mur-froid} = 3,4^\circ\text{C}$



K : $f(0.20) = 0.65$ $\Theta = 12.9^\circ\text{C}$ pas bon : risque modéré (C60)
 O : $f(0.20) = 0.65$ $\Theta = 12.9^\circ\text{C}$ pas bon : risque modéré (C60)

$\Delta\text{mur-froid} = 5,2^\circ\text{C}$

Le facteur de température augmente, le risque de condensation existe toujours, mais diminue.

Il est donc faux d'affirmer que le fait de remplir le creux donne lieu à une augmentation du risque de condensation de surface. Au contraire, le risque diminue !

Cependant, il est vrai que le pont thermique se réchauffe moins vite que le reste du mur intérieur après isolation, ceci apparaît par le fait que la différence de température entre le pont thermique et le reste de la surface intérieure est plus grande après isolation. Des risques de fissuration et des problèmes d'adhésion plus élevés pourraient en être éventuellement les conséquences.

Après isolation, les ponts thermiques seront pour une part plus importante responsables de la perte totale de conductivité (jusqu'à 35% [33]) qu'avant isolation, tout simplement parce que la perte totale de conductivité a été diminuée par l'isolation du mur creux. Nous reviendrons plus loin sur ce point.

Selon nous, il faut chercher l'explication d'une éventuelle condensation de surface (supplémentaire) au niveau des ponts thermiques dans d'autres interventions de rénovation qui font augmenter l'humidité intérieure relative.

Par intervention de rénovation, on entend généralement le placement de châssis modernes et hermétiques (d'où une diminution du volume de ventilation) avec double vitrage en remplacement du simple vitrage (où se pose inmanquablement la condensation en hiver, et assure une diminution de l'humidité de l'air intérieur). Le remplacement de poêles au gaz ou à pétrole disposés dans toute l'habitation par un chauffage central diminue également le volume de ventilation [36].

La condensation de surface va dès lors forcément se placer au niveau des ponts thermiques, même si la température augmente au niveau des ponts thermiques suite à des travaux d'isolation, comme nous l'avons démontré plus haut.

3.3.2. Résistance au gel

Nous comparons les extrêmes annuels de températures et les variations de températures des murs creux avec parois intérieures et extérieures identiques, mais dans le premier schéma sans isolation, et dans le deuxième schéma après isolation du creux.

Nous considérons les conditions climatiques suivantes :

- pour l'intérieur : 20°C en hiver et 23°C en été
- pour l'extérieur : -14°C en hiver et 23°C en été

Voir Schéma [31] p. 20 :

Variations de températures annuelles avant et après isolation

A. Avant isolation :

1. plâtrage : 1cm d'épaisseur
 2. brique perforée : 14 cm d'épaisseur
 3. vide : 6 cm d'épaisseur
 4. brique de façade : 9 cm d'épaisseur
- $k = 1,27 \text{ W/m}^2\text{K}$

B. Après isolation :

1. plâtrage : 1cm d'épaisseur
 2. brique perforée : 14cm d'épaisseur
 3. laine minérale : 6cm d'épaisseur
 4. brique de façade : 9 cm d'épaisseur
- $k = 0.47 \text{ W/m}^2\text{K}$

Nous constatons que, suite à l'isolation du mur creux, les variations de températures augmentent modérément dans la paroi extérieure, tandis qu'elles diminuent fortement au niveau de la paroi intérieure.

Nous remarquons également que l'augmentation de la variation de température au niveau de la paroi extérieure est surtout la conséquence d'une nette diminution de la température minimum de la paroi extérieure côté creux (de -3 à -6°C). En d'autres termes : l'influence du gel se fait ressentir davantage dans la paroi extérieure.

L'augmentation de la variation de température dans la paroi extérieure a une action thermique plus prononcée et est donc responsable de (micro) fissurations au niveau du mortier de rejointoyage et des pierres. Les conséquences sont encore plus importantes si l'on utilise des grands formats. Les fissurations rendent la paroi extérieure perméable à l'eau de pluie. Par la diminution des températures dans la paroi extérieure en hiver, le mur extérieur séchera plus lentement et sera donc plus humide. Il en résultera un risque plus élevé de dégâts dus au gel et peut-être aussi davantage de phénomènes de laitance (13).

13. Ces phénomènes de laitance ne sont gênants que d'un point de vue esthétique.

L'augmentation de l'humidité n'a pratiquement aucun effet sur la brique, dont le caractère solide est connu.

Les dégâts dus au gel apparaîtront plus facilement après isolation lorsqu'on a utilisé des briques de moins bonne qualité qui ne résistent pas au gel.

Le schéma [32] montre les exigences imposées pour la résistance au gel des briques utilisées pour les parois extérieures. On distingue bien évidemment les murs creux isolés et non isolés. Pour les murs creux non isolés, on fait encore la distinction entre murs creux ventilés et non ventilés. Cette distinction est quelque peu tirée par les cheveux si l'on a affaire à une paroi normale qui n'est pas terminée par une couche contre l'humidité. Dans ce cas, une ventilation du vide n'a pratiquement aucune influence sur le séchage, comme nous l'avons démontré au §2.3.1.

A partir de [31 et 32], nous pouvons déduire les critères suivants de résistance au gel. Ces critères sont indépendants de l'orientation de la façade pour un mur creux isolé :

	niveau de résistance		Valeur max. d'essai au gel indirect	
	Non protégé	protégé	Non protégé	protégé
Mur creux non isolé	5 par vent dominant	3 ou moins	-2,5	0
Mur creux isolé	5	4	-2,5	-0,95

Pratiquement, ceci reviendrait à dire que les briques d'un mur creux totalement rempli doivent être d'excellente qualité, sauf si le mur est suffisamment protégé (14). Nous nous demandons si ceci est vraiment réalisable. Des directives néerlandaises posent comme condition que le mur « ne peut pas présenter des traces de dégâts dus au gel » pour entrer en considération pour l'isolation de murs existants. Cependant, nous avons pu constater par nous-même que, dans la pratique, l'isolation a quand même été réalisée. On peut essayer de diminuer le risque de dégâts dus au gel en installant une couche d'hydrofuge qui soit cependant perméable à l'humidité. Si cette couche n'est pas perméable à l'humidité, on empêche la paroi extérieure de sécher et on augmente sensiblement le risque de dégâts dus au gel, au lieu de le diminuer.

Il faut être très prudent lors de l'isolation de murs creux terminés par une couche contre l'humidité. Toutes les directives que nous avons consultées déconseillent le remplissage du creux dans ces conditions. Nous avons pu constater que certaines firmes entreprennent malgré tout le remplissage du mur creux après avoir effectué un essai de résistance au gel des briques. Certaines briques vernies fabriquées ces 10 dernières années offriraient une résistance au gel suffisante pour permettre l'isolation du mur creux.

La présence d'isolation dans le vide augmentera l'influence des conditions climatiques et en particulier du gel sur la façade.

L'isolation des murs creux engendre un changement de comportement des murs, notamment par rapport à la résistance au gel, au taux d'humidité et à l'influence des chocs thermiques.

14. C'est-à-dire : une protection horizontale au-dessus du mur (p.ex. une terrasse) qui ressort d'au moins H/2 (H = hauteur du mur).

3.3.3. Restes de mortiers et joints manquants

Dans le cas d'un creux non isolé, l'eau de pluie s'infiltré dans la paroi intérieure via des ponts de mortier, des crochets mal placés, des feuilles de plomb mal placées ou inexistantes, et dans le cas d'une paroi intérieure laissant passer l'air. Selon les directives, l'isolation d'un mur creux qui présenterait de tels manquements est à exclure.

Dans le cas de mortier qui s'accumule au niveau des crochets et des feuilles de plomb, les directives mettent en garde contre l'isolation des murs creux. Il faut d'abord s'assurer à l'aide d'un endoscope qu'il n'y a pas de (trop) grandes quantités de mortier ou de gravats dans le creux qui pourraient causer un pont d'humidité.

Une recherche réalisée par le BRE (15) montre que les problèmes causés par l'eau de pluie augmentent lorsqu'on remplit les murs creux qui présentaient déjà des problèmes similaires avant isolation au niveau des ponts de mortier. La cause en est probablement le fait que le séchage par ventilation (16) et l'écoulement de l'humidité au niveau des ponts de mortier (crochets) sont rendus impossibles par l'isolation du creux. La paroi extérieure, qui se trouve en contact direct avec le pont de mortier, est en moyenne plus humide après remplissage du creux.

Des feuilles de plomb mal placées peuvent donner lieu après isolation à une augmentation de l'infiltration d'eau de pluie. Ce phénomène peut uniquement s'expliquer par le fait que ces feuilles de plomb se trouvent au-dessus d'un linteau et que le matériau d'isolation laisse l'eau de pluie s'infiltrer. De même que pour le matériau d'isolation, la feuille de plomb va continuer à transporter l'eau des deux côtés du linteau. Après isolation, cette eau se retrouve sur le matériau d'isolation et une partie de cette eau coule sur la paroi intérieure et provoque des infiltrations.

Voir Schéma [31] p.22 : Infiltration d'eau de pluie aux extrémités des linteaux.

Voir Schéma [33] p.22 : Transport de l'eau au-dessus du linteau.

water op voetlood = eau sur la feuille de plomb
doorslag = infiltration
afwatering op isolatie = écoulement sur l'isolation
voetlood = feuille de plomb
isolatie = isolation
afstroming naar binnenspouwblad = transport de l'eau vers la paroi intérieure
regendoorslag t.g.v. valspece bij ongevulde spouw = infiltration d'eau de pluie
suite à des restes de mortier dans le cas d'un creux vide.

15. Building Research Establishment

16. Ceci est probablement la cause la moins importante. Nous avons démontré au §2.3.1. que l'influence de la ventilation du creux sur le séchage des parois est négligeable, la même remarque est vraisemblablement d'application pour le séchage des ponts de mortier.

L'infiltration d'eau de pluie au niveau des crochets mal placés n'est possible que lorsque la jonction entre le matériau d'isolation et les crochets n'est pas parfaite et qu'un creux apparaît sous le crochet. Tout comme avant le remplissage, l'eau trouvera son chemin le long des crochets, et lorsque des gouttes d'eau couleront des crochets, elles arriveront au niveau de l'isolation qui se trouve juste en dessous. Ainsi, ces gouttes d'eau seront en partie transportées vers la paroi intérieure.

A première vue, il paraît logique que le risque d'infiltration d'eau de pluie diminue au bas du mur au niveau des restes de mortier si on réalise un travail d'isolation de *bonne qualité*. En effet, le mortier devrait être moins en contact avec l'eau de pluie après isolation. L'isolation devrait empêcher l'eau de s'infiltrer dans le creux.

Une des raisons de l'augmentation de l'infiltration d'eau de pluie au niveau des restes de mortier, est que le mur extérieur sera en moyenne plus humide après isolation. L'eau suinte vers le bas le long de la paroi extérieure capillaire. Ainsi, le bas de la paroi extérieure reste plus longtemps humide au niveau des restes de mortier. Le mortier transportera donc constamment de l'humidité du mur extérieur vers la paroi intérieure.

Il est clair qu'on ne peut pas remplir les creux de murs existants qui présentent des problèmes d'infiltration d'eau de pluie.

Par contre, il n'est pas clair du tout de savoir s'il faut laisser les joints ouverts à la base du creux après isolation ou non. La plupart du temps, ce sujet est ignoré, et lorsqu'on s'y intéresse, on se limite à quelques recommandations émanant de l'expérience dans la construction de bâtiments neufs où les murs creux ont été complètement remplis de plaques d'isolation. Lorsque le creux est rempli à l'aide de plaques d'isolation, il est en effet impossible de relier parfaitement la plaque d'isolation et la paroi extérieure. Par conséquent, dans ces cas, l'écoulement de l'eau ruisselante côté intérieur de la paroi extérieure doit être assuré par un système de drainage par ouvertures.

Selon les directives de fabrication (sites web, ATG), les ouvertures prévues au bas du mur au-dessus de la membrane d'étanchéité et au-dessus des interruptions horizontales du mur creux, doivent rester fonctionnelles après isolation (peu importe le matériau choisi) pour l'écoulement de l'eau de pluie. Ils vont même plus loin : s'il n'y a pas d'ouverture pour le drainage, il faudra les prévoir [32, 15 et les ATG] !

Le maintien des ouvertures de drainage au bas du mur après isolation avec de la mousse polyuréthane nous semble inutile dans le cas où le creux est rempli dans les règles de l'art. Nous avons pu constater par nous-même que ces ouvertures sont actuellement tout simplement bouchées lors du remplissage du creux par de la mousse polyuréthane et également par des flocons de laine minérale.

Si la mousse polyuréthane est bien appliquée, l'eau de pluie ne s'infiltrera pas dans le creux, et certainement pas au bas du mur creux. Il en sera *probablement* de même lorsque le creux est rempli à l'aide de laine suffisamment dense. Il serait exagéré de faire fraiser des joints parce qu'il n'y a pas d'ouverture de drainage. S'il n'y avait aucune raison de prévoir des ouvertures de drainage avant le remplissage (pour des façades qui ne sont pratiquement pas exposées à la pluie), il n'y en aura certainement aucune après isolation.

Dans le cas où le matériau d'isolation n'adhère pas à la paroi extérieure (comme la mousse UF par exemple), ou que le matériau de remplissage permet le transport de l'eau suite à une

densité trop faible (ce qui est inévitable pour des matériaux en granulés de trop gros diamètres, même s'ils sont résistants à l'eau), les ouvertures de drainages restent nécessaires.

Voir Schéma p. 23 : Transport de l'eau dans un mur creux rempli de granulés.

Le contact entre le mur extérieur et le matériau d'isolation en granulés n'est pratiquement jamais parfait, et, à ce niveau, on ne peut donc pas éviter le ruissellement de l'eau de pluie vers le bas. Dans ce cas, les ouvertures de drainage au bas du mur doivent rester ouvertes. On peut se demander si les gouttes d'eau ruisselleront effectivement le long du mur extérieur, côté creux, et si une partie de ces gouttes ne seront pas absorbées par le matériau d'isolation. Il ressort d'une recherche appliquée (voir §5.2.2.2.) que les taux d'humidité mesurés dans les isolations de murs existants sont très faibles. Avec une grande exception : la mousse UF qui, par son caractère capillaire, absorbe en fait une partie de l'eau de pluie.

3.3.4. Perméabilité à l'eau et à l'air

Vu le risque élevé d'infiltration d'humidité, il est fortement déconseillé d'isoler les murs creux dont la paroi extérieure a été réalisée en pierres de béton présentant une structure ouverte. Dans ce cas, seule une isolation avec de la mousse polyuréthane est possible [12 et 13].

Pour les mêmes raisons, les joints du mur extérieur doivent se trouver dans un bon état avant de procéder au remplissage du mur creux.

Il est également déconseillé de remplir un mur dont la paroi intérieure est soit disant « un travail de maçonnerie propre » sans couche de plâtre, car la grande perméabilité à l'eau entraînerait un risque élevé d'infiltration d'eau de pluie.

3.3.5. Largeur du creux

Lorsqu'on isole des creux étroits, il y a un risque élevé de ne pas pouvoir remplir le creux totalement ou partiellement à certains endroits, ce qui augmente le risque d'infiltration d'humidité. Les directives de fabrication néerlandaises signalent les largeurs minimales suivantes pour lesquelles il est possible de maintenir les schémas et procédés normaux de remplissage (voir §4) :

Mousse UF : 40 mm
Flocons minéraux : 40 mm
Billes polystyrène : 30 mm
Mousse polyuréthane : 30 mm
Grains de perlite siliconés : 30 mm

Pour les murs creux plus étroits, il faut passer à un schéma de remplissage plus compact avec des trous de contrôle pour vérifier si le creux est suffisamment rempli. Actuellement, il est conseillé de vérifier s'il faut encore ajouter de l'isolation. Ceci se fera à l'aide d'une thermographie à infrarouge au moment de la période froide qui suit l'intervention.

Il est à remarquer que la « largeur du creux » mentionnée plus haut doit être remplacée par la distance respective entre les arêtes de mortier sur les parois intérieures et extérieures si c'est le cas. Ceci peut diminuer considérablement la distance entre la paroi intérieure et extérieure.

On peut se demander si l'isolation d'un mur creux est envisageable d'un point de vue technique et économique dans le cas d'un creux étroit et/ou en présence d'arêtes de mortier. Si le creux n'est pas totalement rempli, le risque d'infiltration d'eau de pluie augmentera sérieusement. De plus, le matériau d'isolation deviendra humide, d'où une diminution de l'efficacité.

Les murs creux qui ont déjà été isolés à l'aide de plaques lors de la construction peuvent éventuellement être isolés totalement par la suite lorsqu'il reste suffisamment de place dans le creux. C'est surtout la mousse polyuréthane qui pourra être utilisée ici parce qu'elle peut exercer une pression sur les plaques d'isolation grâce à sa force d'expansion non négligeable. Ainsi, les plaques seront comme collées à la paroi intérieure. A notre connaissance, ces applications n'ont cependant pas encore été étudiées scientifiquement.

3.3.6. Hautes et longues façades continues

Après remplissage du creux, les différences de températures entre la paroi intérieure et extérieure s'accroissent ainsi que la tension qui apparaît suite aux changements de longueur thermique entre la paroi intérieure et extérieure. C'est la raison pour laquelle les murs creux continus dont la hauteur/longueur dépassent 15 m ne peuvent pas être isolés. Ceci est certainement le cas si des fissures de dilatations sont déjà visibles [voir sites web].

En outre, il y a un risque plus élevé d'infiltration d'humidité suite à l'intensité des averses de pluie et des coups de vents à des hauteurs plus élevées. C'est pourquoi dans certains articles de littérature scientifique on déconseille de remplir les creux de bâtiments trop hauts. A notre avis, il doit être possible de remplir ces creux également si on opte pour un matériau qui n'absorbe pas l'eau sous haute pression (comme la mousse polyuréthane, par exemple).

4. Matériaux et réalisations

Voici les différents matériaux d'isolation pour murs creux existants que l'on trouve actuellement sur le marché :

- mousses : mousse polyuréthane
mousse UF
- flocons : laine de roche et laine de verre
- granulés : billes en polystyrène, avec liant
perlite
verre cellulaire

Aux Pays-Bas, la mousse UF est utilisée depuis 1974 sous le contrôle du BKS. En 1975, on y a ajouté les flocons de laine de roche et les billes de perlite, en 1976 les flocons de laine de verre, en 1977 les billes en polystyrène avec liant et en 1978 la mousse polyuréthane. Ce n'est qu'en 1997 que les Pays-Bas accordèrent un agrément pour les billes de perlite.

Actuellement, le remplissage des murs creux coûte, par mètre carré et pour une largeur normale de creux de 5 à 6 cm, 10 à 11€ avec de la laine de roche ou de la laine de verre, 13€ avec des billes en polystyrène, 14€ avec de la mousse polyuréthane. La mousse UF est meilleur marché que les matériaux précités, mais n'est proposée que par un petit nombre d'installateurs. Tous les prix cités s'entendent HTVA. Pour les billes de perlite et le verre cellulaire, les prix semblent fort dépendre d'un entrepreneur à l'autre, les billes de perlite peuvent s'avérer parfois très bon marché, tandis que les billes de verre cellulaire paraissent plus chères. Nous supposons que les prix de ces deux produits se stabiliseront après un certain temps, lorsque plus d'entrepreneurs opteront pour ces produits. Pour en revenir aux billes de perlite et de verre cellulaire, on sous-estime souvent la quantité nécessaire (pour les raisons : voir 4.3.2.).

Pour tous ces matériaux, on fore des trous aux intersections des joints dans la paroi extérieure. Soit on souffle le matériau d'isolation à travers ces trous dans le creux, soit il est injecté à l'aide de pistolets.

Le diamètre des trous varie entre 16 et 23 mm. Si les trous sont plus grands, on abîme les coins des briques (17). Lorsqu'on injecte de la mousse, on utilise des ouvertures d'un diamètre le plus petit possible et on peut ainsi éviter les dégâts causés aux briques.

Voir photo p.25 : Brique légèrement abîmée [37]

17. Certainement lorsque la foreuse n'est pas maintenue à la perpendiculaire pendant le forage, ce qui peut arriver en hauteur lorsqu'on veut faire le plus de trous possibles sans déplacer l'échelle.

Le nombre d'ouvertures par mètre carré varie selon le matériau et est prescrit dans les recommandations. Dans le cas où le mur est discontinu ou si la largeur du creux est petite, il faudra augmenter le nombre de trous pour assurer un remplissage parfait du creux et le caractère hermétique du matériau d'isolation.

Nous illustrons ici le schéma le plus courant, où les ouvertures forment entre elles des triangles identiques, avec des distances prescrites par les différentes directives nationales.

pp. 26-30 (...)

4.1.2. Mousse polyuréthane

Les deux composants de base liquide, le polyol et l'isocyanate, se mélangent dans le pistolet d'injection et commencent à réagir spontanément (24). Ainsi, le mélange encore liquide est injecté dans le creux à travers les trous forés dans les joints, et peut atteindre les endroits les plus difficiles. La réaction entre le polyol et l'isocyanate donne le polymère polyuréthane et dégage beaucoup de chaleur. Cette chaleur est utilisée pour fabriquer de la mousse : on ajoute au polyol un « agent gonflant »(25) qui va se mettre en ébullition et provoquer ainsi des bulles de gaz. Contrairement à la mousse UF, l'expansion a lieu dans le creux même.

Voir photo p.31 : Pistolet d'injection dans lequel les trois composants se réunissent

Il est important de prévoir suffisamment de trous dans la paroi extérieure parce que la mousse commence déjà à se former après quelques secondes et n'a donc pas le temps de descendre jusqu'au bas du mur. La mousse est déjà durcie après 1 à 2 minutes.

Au début des années '80, certains estimaient que la mousse polyuréthane était inutilisable [30] vu son caractère expansif (les parois creuses seraient repoussées l'une de l'autre) et sa haute résistance à la vapeur. Nous avons démontré au §3.2.3. que la valeur élevée du taux de résistance à la vapeur μ n'était vraiment pas un élément négatif. Actuellement, nous sommes capables d'exploiter les caractéristiques expansives pour assurer un remplissage complet du creux et une adhérence parfaite aux parois. Nous avons pu expérimenter nous-même lors d'essais de remplissage avec de la mousse polyuréthane que la mousse est capable de pénétrer

24. Pas besoin de catalyseur donc, contrairement à la mousse UF.

25. Une substance avec un point d'ébullition très bas (en dessous de 25°) qui ne participe pas à la réaction entre le polyol et l'isocyanate.

la moindre fente grâce à son caractère expansif. Cette mousse est donc idéale pour les creux étroits et pour le remplissage de creux déjà partiellement isolés à l'aide de plaques. Il est possible que les parois s'écartent lors du remplissage du creux lorsque la mousse ne trouve pas assez le moyen de s'étendre faute de place. Il est donc essentiel que l'entrepreneur ait de l'expérience et fasse preuve de prudence lors du remplissage d'un mur creux à l'aide de mousse polyuréthane. Il arrive que les entrepreneurs commettent un excès de prudence en ne remplissant pas complètement les creux au-dessus et en dessous des coupures horizontales du mur creux. Ceci constitue une des plaintes (peu nombreuses) liées à la mousse polyuréthane. Les habitants ôtent quelques tuiles pour observer le creux et constatent que celui-ci n'est pas rempli jusque tout en haut parce que l'entrepreneur craignait que la mousse expansive n'exerce une pression sur les tuiles qui se soulèveraient.

La fin du processus de durcissement s'accompagne d'une cassure des parois cellulaires : l'agent gonflant s'échappe et il reste une mousse à cellules ouvertes (26). Il ressort d'études très rigoureuses que le fait d'utiliser de la mousse à cellules ouvertes n'entraîne aucune absorption d'eau, comme nous le démontrons au §5.1.2.1.

Voir photo p.32 : mousse polyuréthane expansive dans un mur de démonstration (photo Plumiers Isolation SA)

Une étude a été réalisée à l'Université Catholique de Louvain, dont les résultats ont été publiés en 1984 [33]. Un échantillon de mousse polyuréthane avait été réchauffé et il est apparu que l'échantillon commença à gonfler et se déformer de manière très irrégulière entre 20° et 75°. Il y avait localement des gonflements jusqu'à 33%. Cette instabilité est un phénomène connu de la mousse polyuréthane à faible densité. L'échantillon étudié avait une masse volumique d'à peine 21,4 kg et laissait apparaître beaucoup de poches d'air. Normalement, la densité de la mousse polyuréthane se situe entre 30 et 40 kg/m³. D'après nous, nous pouvons chercher l'explication de l'instabilité observée dans un excès d'agent moussant, ce qui expliquerait le nombre élevé de poches d'air, la faible densité et les gonflements à une température supérieure à 25°.

De nos jours, plus aucune mousse polyuréthane ne contient de CFC.

La valeur λ_i de la mousse polyuréthane s'élève à environ 0,028 W/(m.K). La valeur λ effective qui est bien plus importante s'élève à environ 0,044 W/(m.K) dans un mur d'essai. Il ressort des études pratiques que la valeur λ effective s'élève *en moyenne* à 0,053 W/(m.K). Actuellement, la mousse polyuréthane est le matériau d'isolation des murs creux qui donne en pratique la valeur λ la plus basse.

26. Il existe également de la mousse polyuréthane à cellules fermées avec une valeur λ_i incroyablement basse de 0,023 W/(m.K) qui est cependant particulièrement chère.

7. Conclusions

Le mur creux a été introduit dans les années '30 comme solution idéale aux infiltrations d'eau de pluie, mais ne répond plus aujourd'hui aux normes d'isolation sévères. En remplissant le creux avec un matériau d'isolation, on peut facilement réduire la *valeur k* d'un mur creux jusqu'à $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Si le creux est plus large que 5 cm, on peut atteindre une valeur *k* plus basse que $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, à condition d'utiliser le matériau adéquat. Toutefois, il est encore impossible d'obtenir une valeur *k* inférieure à $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ avec les matériaux actuellement sur le marché.

Il est très difficile d'évaluer l'*économie d'énergie* réalisée suite à l'isolation d'un mur creux existant. Pour une maison non isolée, l'isolation des murs creux peut faire diminuer les besoins en chauffage de 20%. Dans les cas plus courants, c'est-à-dire pour une maison avec double vitrage, l'économie d'énergie sera en théorie d'au moins 10%. L'économie d'énergie pourra être moins importante vu les grandes différences de comportements des habitants dans les maisons bien isolées et mal isolées.

Nous avons étudié tous les inconvénients des murs creux.

Nous avons démontré que la *ventilation du creux* n'a que peu d'influence sur le rythme de séchage de la paroi extérieure. Cependant, la ventilation joue un grand rôle dans le séchage d'une paroi extérieure qui est terminée par une couche contre l'humidité. La paroi intérieure d'un mur creux existant, dont l'humidité résultant de la construction a disparu depuis longtemps, ne doit pas être séchée et ne demande donc aucune ventilation. Dans le cas d'un mur creux qui n'est pas terminé à l'extérieur par une couche contre l'humidité, on peut sans soucis se passer de ventilation du creux.

Contrairement à ce qu'on prétend parfois, la *condensation intérieure* continuera à se manifester après isolation du creux sur le côté « creux » de la paroi extérieure et pas dans le matériau d'isolation.

Après remplissage du creux, le risque de *condensation de surface* n'augmentera pas au niveau des ponts thermiques, au contraire, il diminuera.

Cependant, il est vrai que le risque de *dégâts dus au gel* et de *formation de fissures* augmentera après isolation du mur creux. Après isolation, la température de la paroi extérieure sera en moyenne plus basse en hiver, avec comme conséquence le fait que l'eau s'évapore moins facilement et que les dégâts dus au gel augmentent. De plus, la paroi extérieure sera plus exposée à de grandes variations de températures et la différence de température entre la paroi extérieure et la paroi intérieure sera plus grande, ce qui augmentera le risque de formation de fissures. On ne pourra remplir un mur creux dont la paroi extérieure présente des dégâts dus au gel, ou est terminée par une couche contre l'humidité, qu'après avoir réalisé un essai.

On peut naturellement se poser la question de savoir si le remplissage complet n'annule pas la raison d'exister d'un mur creux, à savoir éviter l'infiltration d'eau de pluie. Pour éviter l'infiltration d'eau de pluie aussi après isolation, il faut choisir un matériau qui empêche le transport d'humidité entre la paroi extérieure et intérieure. Le remplissage d'un mur creux qui présente des problèmes d'infiltration d'eau de pluie est à déconseiller. En effet, le remplissage du mur creux ne fera qu'augmenter le risque d'infiltration.

Nous avons examiné quelles caractéristiques un matériau d'isolation doit présenter pour pouvoir être utilisé comme matériau de remplissage d'un mur creux.

L'isolation sera régulièrement en contact avec une paroi extérieure saturée d'eau de pluie et en outre peut-être exposée aux vents. Un matériau d'isolation ne peut donc *pas être capillaire* et doit former une *couche homogène compacte* sans fissures ni trous. Les matériaux sous forme de mousse ne peuvent présenter aucune fissure au fil du temps, et les matériaux en vrac doivent être appliqués dans le creux de façon suffisamment compacte. De plus, le matériau d'isolation doit conserver une valeur λ basse, même s'il absorbait une faible quantité d'eau.

La perméabilité à l'eau ou à l'humidité est présentée par certains comme une caractéristique nécessaire ou positive d'un matériau d'isolation. Nous avons démontré que ceci n'est pas vrai et que la perméabilité à l'eau n'est une caractéristique positive ni négative d'un matériau d'isolation. Prétendre que l'humidité doit être évacuée en laissant 'respirer' les murs extérieurs est faux. L'humidité est évacuée, et doit être évacuée, par une bonne ventilation de l'espace intérieur. La ventilation du creux n'a que très peu ou pas d'influence sur l'évacuation de l'humidité.

Lorsque la *mousse polyuréthane* est appliquée de façon suffisamment compacte, elle répond brillamment à toutes les conditions et elle peut en principe même être utilisée quand la paroi extérieure est assez perméable à l'eau et à l'air. Satisfont également aux conditions les matériaux suivants : les petites *billes de polystyrène* appliquées avec suffisamment de colle et les *flocons de laine minérale* appliqués avec soin afin de former une masse suffisamment compacte.

La *mousse UF*, première apparue sur le marché, a la valeur λ effective la plus basse de tous les matériaux d'isolation pour murs creux et présente des caractéristiques qui augmentent les risques d'infiltration d'eau de pluie.

Les *grains siliconés* ne devraient être utilisés dans des murs creux que lorsque des études auront prouvé leur efficacité, ce qui n'est pas encore le cas à notre avis.

Les *valeurs λ effectives* de tous les matériaux d'isolation se révèlent toutes plus élevées dans les études appliquées que les valeurs avec lesquelles on calcule habituellement. Les causes en sont peut-être les facteurs suivants : une largeur de creux plus étroite due à des restes de mortier, une absorption de l'humidité, et des phénomènes de ventilation. Malheureusement, nous n'avons pas pu examiner la part respective de ces facteurs dans l'augmentation de la valeur λ effective.

Il n'existe aucune objection fondamentale au remplissage de murs creux existants à condition que (1) ces murs soient en bon état et ne soit pas terminés par une couche contre l'humidité côté extérieur et que (2) le remplissage soit réalisé correctement avec un matériau d'isolation adéquat. Si l'une de ces deux conditions n'est pas respectée, les dégâts seront inévitables.

Nous ne comprenons pas pourquoi on ne peut pas faire en Belgique ce qui est très courant aux Pays-Bas et au Royaume Uni : l'isolation à grande échelle de murs creux d'habitations existantes, avec des exigences strictes aussi bien par rapport au matériau à utiliser qu'à la réalisation. En outre, le potentiel de maisons existantes à isoler en Belgique est très grand : environ un million d'habitations !

