DOCUMENT EXPLICATIF

PRISE EN COMPTE DES NŒUDS CONSTRUCTIFS

Suivant le “Projet de modification de l’ANNEXE IV de l’arrêté PEB”

Élaboré parle groupe de travail *PAThB2010*
K.U.Leuven
Sint-Lucas Architectuur Brussel-Gent
UCL
UGent
ULg
CSTC

A la demande des Régions : Flandres, Wallonie et Bruxelles Capitale

13 février 2010

1 INTRODUCTION 3

2 DOMAINE D'APPLICATION : NOEUDS CONSTRUCTIFS 4

2.1 PAROI DE LA SURFACE DE DEPERDITION 6
2.1.1 QUELLES SONT LES PAROIS DE LA SURFACE DE DEPERDITION ? 6
2.1.2 COMMENT IDENTIFIER LES PAROIS DE LA SURFACE DE DÉPERDITION? 7
2.2 NŒUD CONSTRUCTIF LINEAIRE 7
2.2.1 RENCONTRE DE DEUX PAROIS 7
2.2.2 À LA LIMITE D'UNE PARCELLE ADJACENTE 10
2.2.3 INTERRUPTION LINÉAIRE DE LA COUCHE ISOLANTE D'UNE PAROI 10
2.3 NŒUD CONSTRUCTIF PONCTUEL 13
2.4 QUELLES SITUATIONS NE SONT PAS CONSIDEREES COMME DES NŒUDS CONSTRUCTIFS 14
2.4.1 INTERRUPTIONS PROPRES À UNE PAROI 14
2.4.2 PERCEMENTS DE PAROIS PAR DES PASSAGES DE CANALISATIONS 15
2.4.3 INTERSECTION DE DEUX OU TROIS NŒUDS CONSTRUCTIFS LINÉAIRES 16
2.4.4 EN CONTACT DIRECT AVEC LE SOL 16
2.4.5 LORSQUE LA COUCHE ISOLANTE EST CONTINUE 18
2.5 CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DES NŒUDS CONSTRUCTIFS 18
2.5.1 FLUX DE CHALEUR PAR TRANSMISSION 18
2.5.2 COEFFICIENT DE TRANSFERT THERMIQUE PAR TRANSMISSION H_T 20
2.5.3 SYMBOLES DE NŒUDS CONSTRUCTIFS 21

3 CALCUL DU FLUX THERMIQUE PAR TRANSMISSION DES NOEUDS CONSTRUCTIFS SELON 3 OPTIONS 22

3.1 OPTION A: MÉTHODE DÉTAILLÉE 22
3.1.1 CALCUL NUMÉRIQUE AU NIVEAU DE L'ENSEMBLE DU BÂTIMENT 22
3.1.2 CALCUL NUMÉRIQUE AU NIVEAU DES NŒUDS CONSTRUCTIFS 22
3.2 OPTION B: MÉTHODE DES NŒUDS PEB-CONFORMES 22
3.3 OPTION C: PÉNALITÉ FORFAITAIRE 22

4 NŒUDS PEB-CONFORMES 22

4.1 CONDITION 1 : SATISFAIRE À UNE DES RÈGLES DE BASE POUR UN DÉTAIL À FAIBLE PONT THERMIQUE 22
4.1.1 RÈGLE DE BASE 1 : ÉPAISSEUR MINIMALE DE CONTACT DES COUCHES ISOLANTES 22
4.1.2 RÈGLE DE BASE 2 : INTERPOSITION D'UN ÉLÉMENT ISOLANT. 22
4.1.3 RÈGLE DE BASE 3: LONGUEUR DU CHEMIN DE MOINDRE RÉSISTANCE 22
4.2 CONDITION 2: SATISFAIRE À $\Psi_E \leq \Psi_{E,LIM}$ 22
4.2.1 GÉNÉRALITÉS 22
4.2.2 SITUATIONS SPÉCIALES 22

5 VALEURS PAR DÉFAUT 22

5.1 VALEURS PAR DEFAUT POUR LES NOEUDS CONSTRUCTIFS LINEAIRES 22
5.1.1 GÉNÉRALITÉS 22
5.1.2 SITUATIONS SPÉCIALES 22
5.2 VALEURS PAR DÉFAUT POUR LES NŒUDS CONSTRUCTIFS PONCTUELS 22

1 INTRODUCTION

Le projet de modification de l'annexe IV de l'arrêté PEB fixe la prise en compte de l'incidence des nœuds constructifs sur le coefficient de transfert thermique par transmission. Dans celui-ci le choix est laissé entre trois méthodes : la méthode détaillée, la méthode de nœuds PEB-conformes et la méthode du choix du supplément forfaitaire pénalisant le niveau K.

La *méthode détaillée ('Option A')* permet de déterminer le plus exactement possible l'influence des nœuds constructifs sur le flux de chaleur total. Tous les nœuds constructifs linéaires et ponctuels doivent dans ce cas être calculés individuellement.

La *méthode des nœuds PEB-conformes ('Option B')* prévoit une petite pénalité forfaitaire sur le niveau K pour les nœuds constructifs à pont thermique négligeable. Pour ces nœuds constructifs, il suffit de montrer qu'ils sont 'PEB-conformes'. Il n'est pas nécessaire d'en déterminer les longueurs et les nombres, pour que le calcul puisse être effectué. Les nœuds qui ne sont pas PEB-conformes doivent être pris en compte individuellement.

Si on choisit de ne pas prendre en compte l'influence des nœuds constructifs suivant la méthode détaillée ou la méthode des nœuds PEB-conformes, une *pénalité forfaitaire ('Option C')* est prévue.

Le texte ci-dessous vise à clarifier le texte légal et à l'illustrer à l'aide d'exemples pratiques. Le document explicatif peut être lu en même temps que la présentation powerpoint sur les nœuds constructifs à télécharger séparément.

L'annexe IV offre seulement des méthodes de prise en compte de l'influence des nœuds constructifs. Ceci signifie que personne n'est déchargé de ses responsabilités quant à la limitation des risques de condensation et de moisissures, même en respectant les prescriptions de l'annexe IV.

La Figure 1.1 reprend la légende des dessins du présent document.

Conventions / Environnement intérieur / Environnement extérieur / Isolation / Parties isolantes / Blocs perforrés / Parement / béton

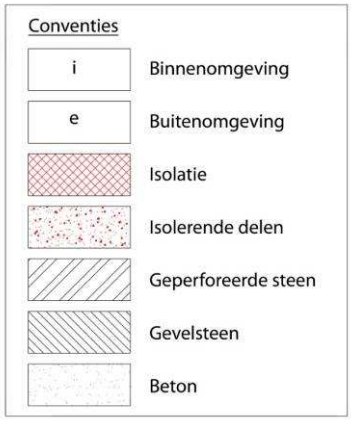


Figure 1.1 Légende

2 DOMAINE D'APPLICATION : NOEUDS CONSTRUCTIFS

Le terme pont thermique, fort utilisé et connu de tous, n'est volontairement plus utilisé dans la règlementation afin d'éviter la connotation négative qui y est attachée. Dans le domaine du bâtiment, un pont thermique est la plupart du temps considéré comme un endroit où se produisent des pertes de chaleur excessives et où des problèmes de condensation et de moisissures peuvent apparaître comme, par exemple, des planchers qui sont en contact avec le parement extérieur d'un mur creux, des linteaux en béton coulés jusqu'à l'extérieur, … (Figure 2.1).

Figure 2.1 Des ponts thermiques sont souvent synonymes de problèmes

Lorsqu'on fait attention à traiter correctement le détail d'exécution du point de vue thermique, les problèmes cités peuvent être réduits à un minimum et on ne peut, en principe, plus parler de *pont thermique*.
C'est la raison pour laquelle le terme *nœud constructif* a été introduit. Ce terme couvre l'ensemble des endroits de l'enveloppe du bâtiment où peuvent apparaître des pertes thermiques supplémentaires sans pour autant qu'on ait affaire à des pertes thermiques excessives et/ou à des problèmes de condensation ou de moisissures. La définition conduit à une liste des localisations possibles d'un nœud constructif, mais ne préjuge pas si un nœud constructif est *bon* ou *mauvais* du point de vue de la physique du bâtiment.

Le terme *pont thermique* n'apparaît donc plus dans le texte de l'annexe IV de la réglementation PEB. Toutefois des nœuds constructifs thermiquement très mauvais doivent toujours être considérés comme des *ponts thermiques* dans le sens négatif d'origine.

Pertes par transmission 2D et 3D

Il est important de faire la distinction entre, d'une part, des *'nœuds constructifs'* et, d'autre part, les *'interruptions linéaires et ponctuelles propres à une paroi'*. La Figure 2.2 2.2 montre une représentation schématique de la situation.

Théoriquement, les pertes par transmission en deux ou trois dimensions peuvent être causées, d'une part, par les interruptions linéaires et ponctuelles qui sont propres à une paroi (ossature en bois, crochets d'ancrage, fenêtres,…) et, d'autre part, par les nœuds constructifs (rive de toiture, appui

de fondation, raccord aux fenêtres, …)

Les deux situations doivent être prises en compte dans le total de la déperdition thermique par transmission d'un bâtiment mais, dans le cas des interruptions propres à une paroi, cela se fait via la valeur U de cette dernière tandis que, dans le cas des nœuds constructifs, cela se fait via un supplément spécifique à la déperdition thermique totale telle que pris en compte par l'Annexe IV de la réglementation PEB.

Figure 2.2 Il y a des déperditions thermiques en 2D ou 3D qui ne sont pas du type 'nœuds constructifs' mais qui doivent être prises en compte dans les parois où elles se produisent.

La définition d'un nœud constructif est étroitement liée au concept de *paroi de la surface de déperdition*. C'est pourquoi, dans un premier temps, on traitera plus en profondeur ce concept (§**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ensuite les nœuds constructifs linéaires et ponctuels sont définis (§2.2 et §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et les situations qui ne sont pas considérées comme des nœuds constructifs sont explicitées (§**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les caractéristiques thermiques des nœuds constructifs sont abordées pour terminer (§**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

MEMBRANES DE CONSTRUCTION

Lors de la vérification de la conformité PEB d'un nœud constructif, il ne faut pas tenir compte de la présence de membranes de construction telles que pare-vapeur, étanchéités à l'air et à l'eau.

Cela signifie que les membranes qui interrompent localement la couche d'isolation ne doivent pas être considérées comme nœud constructif linéaire A CONDITION qu'un soin particulier soit apporté à assurer la continuité du contact entre la membrane et la couche d'isolation. (Figure 2.3).

Figure 2.3 L'étanchéité d'un pied de mur de fondation n'est pas un nœud constructif si les tranches de l'isolant restent en contact continu avec l'étanchéité.

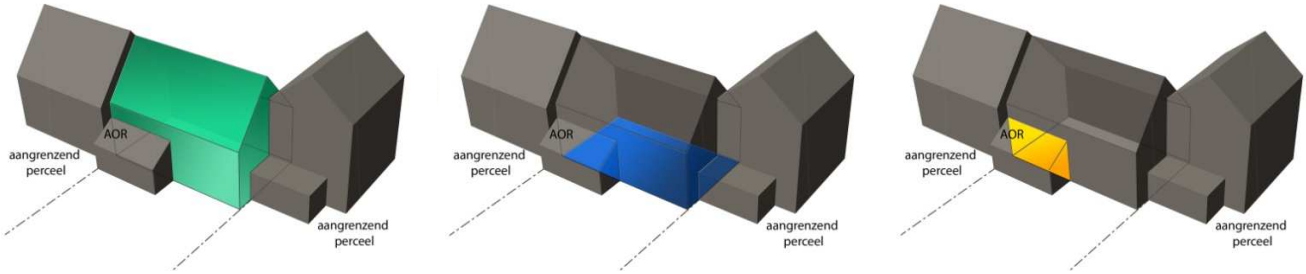
2.1 Paroi de la surface de déperdition

2.1.1 Quelles sont les parois de la surface de déperdition ?

Les nœuds constructifs ne sont pris en compte que dans les *parois de la surface de déperdition*[1]. Dans ce qui suit, ne sont pris en compte que les ouvrages qui forment la séparation entre l'environnement intérieur et

- l'environnement extérieur,
- le sol, des caves ou des vides techniques non chauffés et
- des espaces adjacents non chauffés (EANC).

Les trois cas sont représentés à la Figure 2.4 2.4



vers l'environnement extérieur | vers le sol / une cave non chauffée ou un vide ventilé | vers un EANC

Figure 2.4 Paroi de la surface de déperdition

Cela signifie que des parois intérieures du même volume protégé, adjacentes à un volume protégé sur la même parcelle ou adjacentes à un volume protégé sur une parcelle avoisinante ne sont pas des parois de la surface de déperdition. Ainsi, par exemple, un mur mitoyen qui est en contact avec l'habitation d'une parcelle adjacente n'est pas une paroi de la surface de déperdition (Figure 2.5).

[1] Les parois de la surface de déperdition sont les mêmes que celles qui sont définies à l'article 3, n°29 de l'ordonnance relative à la performance énergétique et au climat intérieur des bâtiments du 7juin 2007 à savoir les *'parois qui enveloppent le volume protégé du bâtiment, à l'exception des parois de séparation d'un volume protégé adjacent'*.

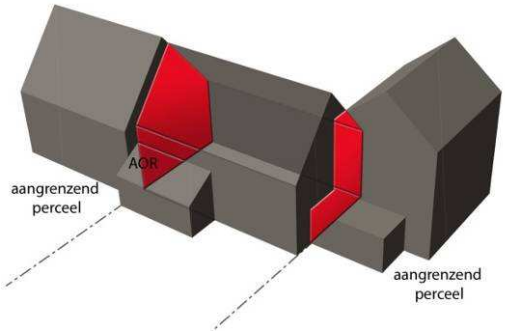


Figure 2.5 Un mur mitoyen qui se trouve en contact avec une habitation sur une parcelle adjacente n'est pas une paroi de la surface de déperdition.

2.1.2 Comment identifier les parois de la surface de déperdition?

Dès qu'une paroi déterminée diffère d'une autre paroi par l'épaisseur des couches de matériaux, les matériaux utilisés, leur succession de l'intérieur vers l'extérieur, l'orientation, la pente et/ou l'environnement extérieur, il s'agit d'une autre paroi. Toute partie construite de la surface de déperdition pour laquelle une valeur U spécifique, et donc aussi une surface A, doit être déterminée, correspond à une paroi de la surface de déperdition.

> Pour rendre le texte de ce document plus lisible, le terme "paroi de la surface de déperdition" est remplacé, *là où aucune confusion n'est possible*. par le terme abrégé "paroi".

2.2 Nœud constructif linéaire

Un nœud constructif linéaire peut se présenter aux trois endroits suivants :

- Là où deux parois de la surface de déperdition se rejoignent (**§Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)
- **Là où une paroi de la surface de déperdition rencontre une paroi à la limite d'une parcelle adjacente (§**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)**
- Là où, dans une même paroi de la surface de déperdition, la couche isolante est interrompue (**§Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

2.2.1 Rencontre de deux parois

Ce type de nœud constructif linéaire peut être repéré sur une coupe du bâtiment. A chaque endroit où deux parois se coupent ou se rejoignent, on est **TOUJOURS** en présence d'un nœud constructif (Figure 2.6). Il faut remarquer que l'identification de ce type de nœud constructif linéaire est, de ce fait, indépendante de la présence ou non de la coupure thermique au niveau du détail : là où deux parois de la surface de déperdition se rejoignent, il s'agit TOUJOURS d'un nœud constructif, **même si la coupure thermique est assurée dans le détail**.

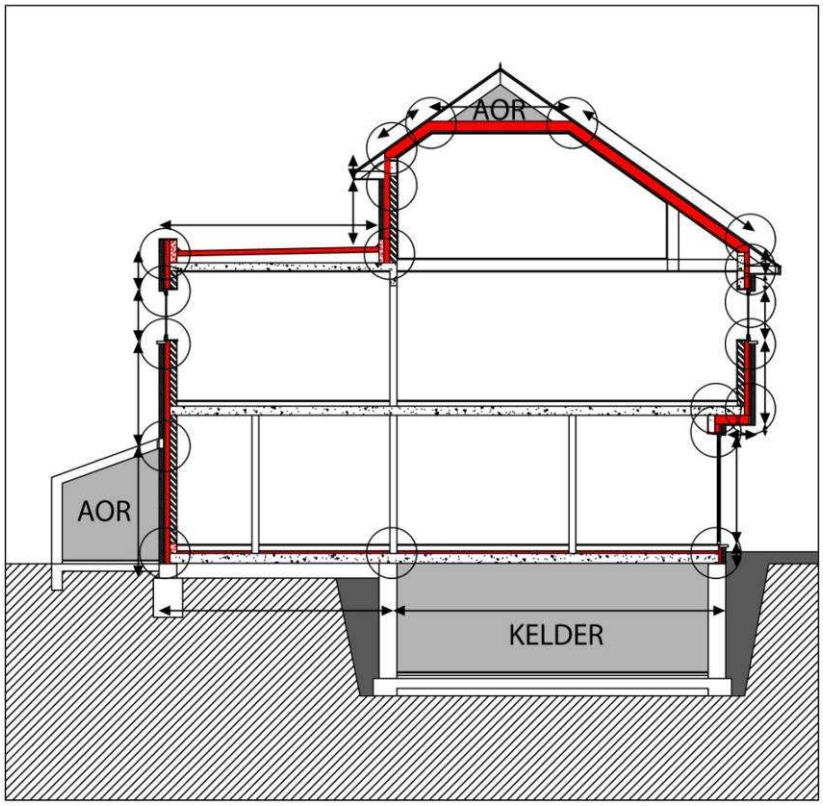


Figure 2.6 Partout où deux parois se rejoignent, on parle d'un nœud constructif linéaire.

EXEMPLES :

- Acrotères, appuis de fondation, raccords de fenêtres ou portes, 2 façades qui se joignent, ... (Figure 2.7)

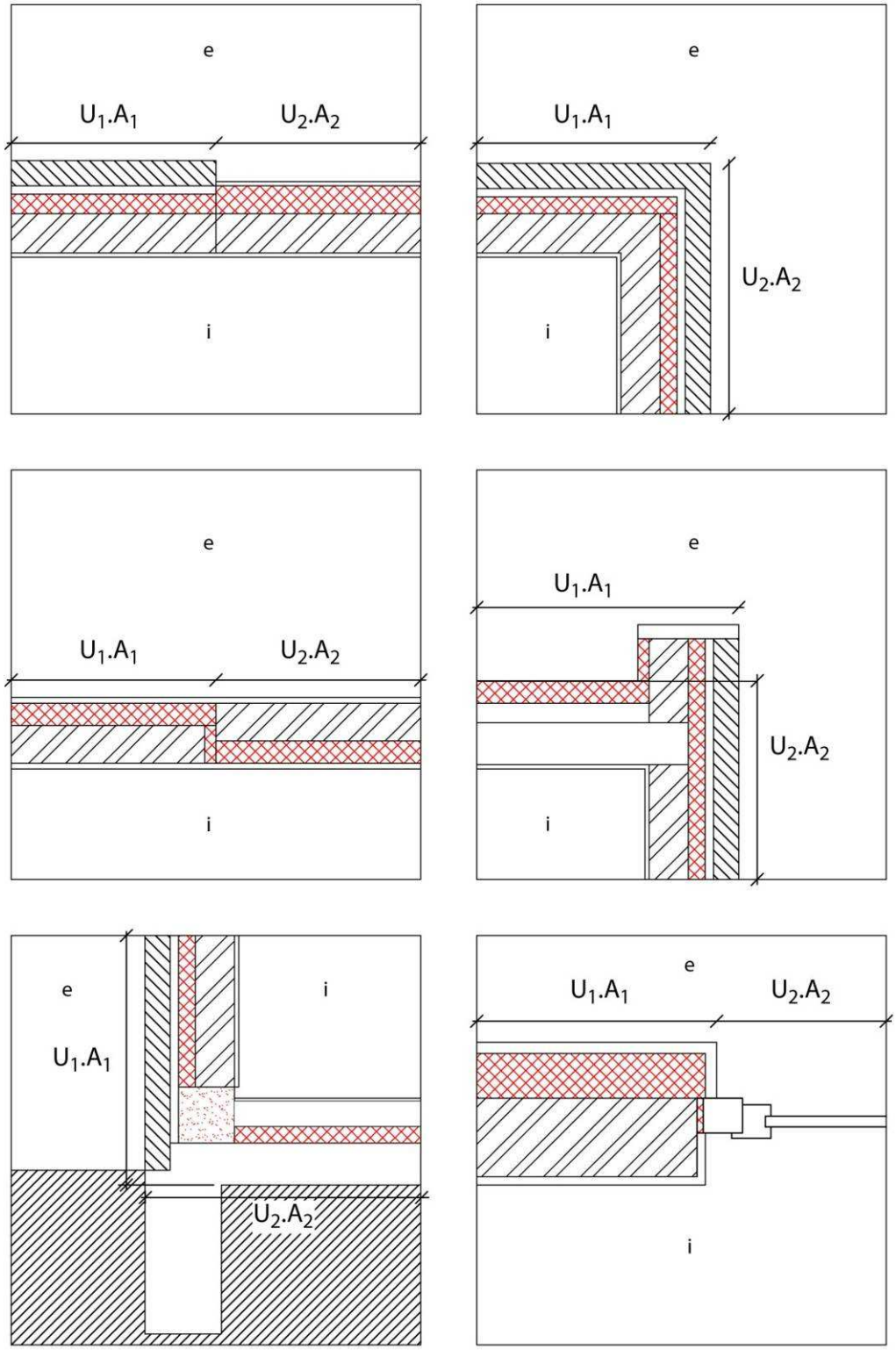


Figure 2.7 Exemples de nœuds constructifs linéaires au droit de la jonction de deux parois

- Une jonction à l'intersection entre l'environnement intérieur, l'environnement extérieur et un EANC constitue toujours un nœud constructif (Figure 2.8). Cela, même si la couche isolante est continue. Il est en effet toujours question de la jonction de deux différentes parois de la surface de déperdition: une paroi avec l'environnement extérieur comme limite et une paroi avec un EANC comme limite, chacune avec sa propre valeur U.

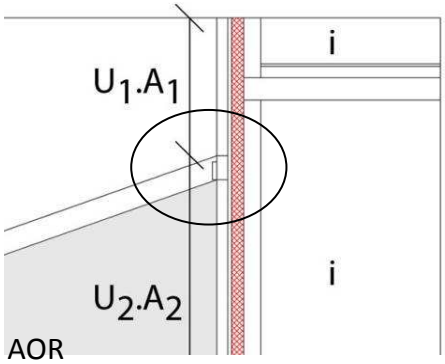


Figure 2.8 La jonction à l'intersection entre l'environnement intérieur, l'environnement extérieur et un espace adjacent non chauffé constitue toujours un nœud constructif même si l'isolation est continue.

2.2.2 À la limite d'une parcelle adjacente

Partout où une paroi de séparation de la surface de déperdition rencontre une paroi à la limite d'une parcelle adjacente, il s'agit d'un nœud constructif linéraire (Figure 2.9), même si cette paroi n'est pas une paroi de la surface de déperdition.

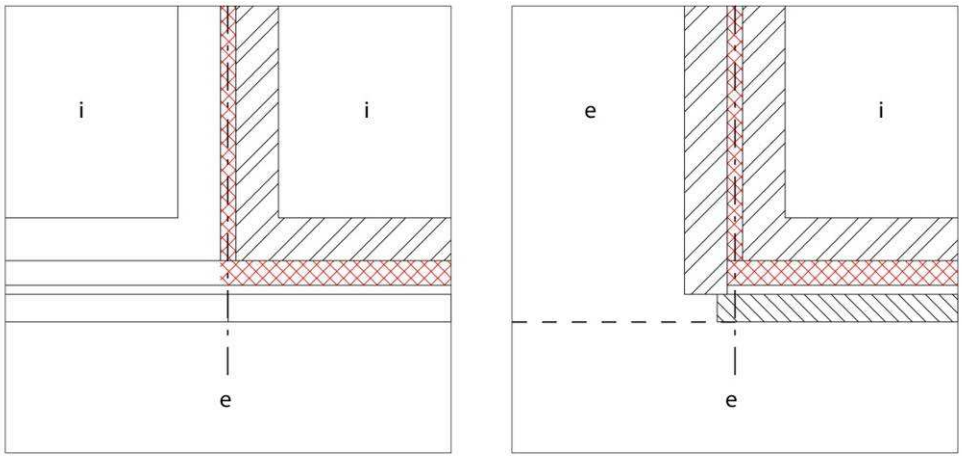


Figure 2.9 Là où une façade extérieure rejoint un mur qui se trouve sur la limite mitoyenne, il y a toujours d'un nœud constructif linéaire, même si le mur ne fait pas partie de la surface de déperdition : tant le mur intérieur (à gauche) que le mur extérieur (à droite) donnent lieu à un nœud constructif linéaire.

2.2.3 Interruption linéaire de la couche isolante d'une paroi

Là où une couche isolante d'une paroi est entièrement ou partiellement interrompue linéairement par un matériau avec une conductivité thermique plus élevée, on parle d'un nœud constructif linéaire.

A la Figure 2.10 2.10 sont présentés un certain nombre d'exemples : en haut à gauche, la couche isolante est interrompue par un profil en acier et, en haut à droite, par une conduite d'eau pluviale. À la rangée du milieu à gauche, l'épaisseur de la couche isolante est diminuée à l'endroit du raccord de balcon et, à la rangée du milieu à droite, la couche isolante du plancher est complètement interrompue par le mur intérieur. La situation du bas de la Figure 2.10 2.10 montre le raccord de la couche isolante par une étanchéité dont l'exécution négligente interrompt l'isolation par une couche d'air et fait apparaître un nœud constructif linéaire[2].

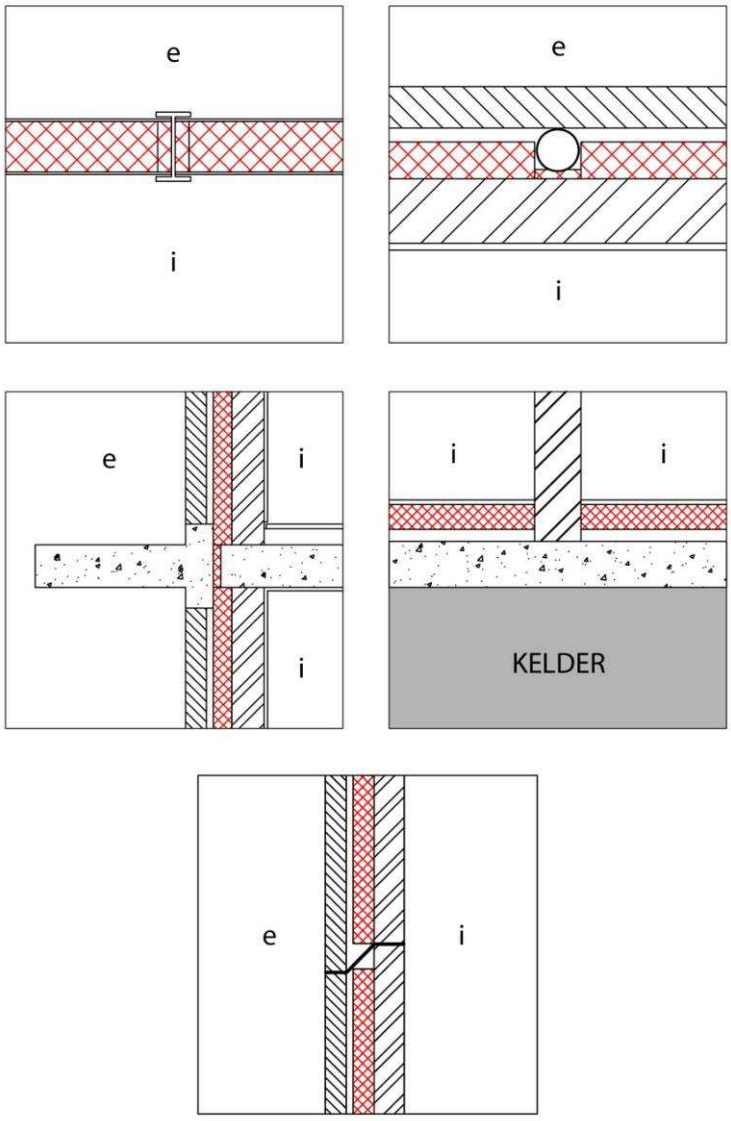


Figure 2.10 Une interruption linéaire de la couche isolante par un matériau moins isolant constitue toujours un nœud constructif linéaire.

La coupe de l'exemple d'habitation ci-dessous présente deux nœuds constructifs linéaires pour lesquels la couche isolante est interrompue linéairement. (Figure 2.11).

[2] Si l'isolation reste en contact continu avec les deux faces de l'étanchéité, il ne s'agit plus d'un nœud constructif linéaire (voir aussi Figure 2.3 page 6).

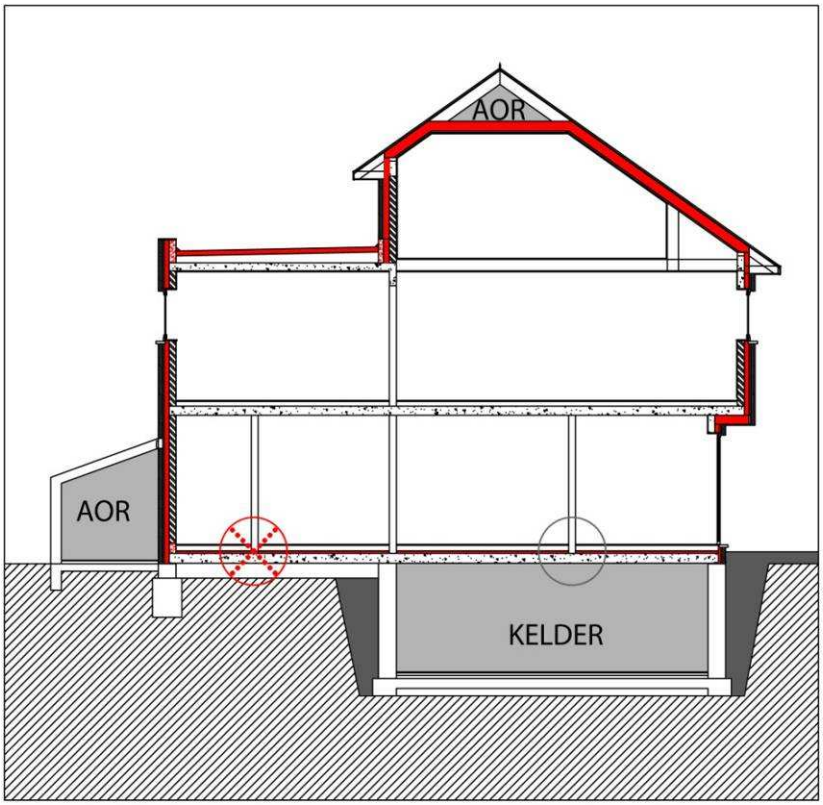


*Figure 2.11 Partout où la couche isolante d'une même paroi est interrompue linéairement, il est question d'un nœud constructif linéaire (cercle). Si la paroi est entièrement en contact avec le sol, une interruption de la couche isolante ne doit pas être considéré comme un nœud constructif (croix) (voir aussi §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** page **Erreur ! Signet non défini.**).*

Ce type de nœud constructif linéaire se présente uniquement dans un même plan, à savoir le plan de la paroi elle-même. La couche isolante ne peut, et c'est important, être interrompue que sur une distance maximale de 0.4 m. Cela signifie qu'en coupe, la plus courte distance entre les deux extrémités de l'interruption de la couche isolante complète ne peut être plus grande que 0.4 m (Figure 2.12).

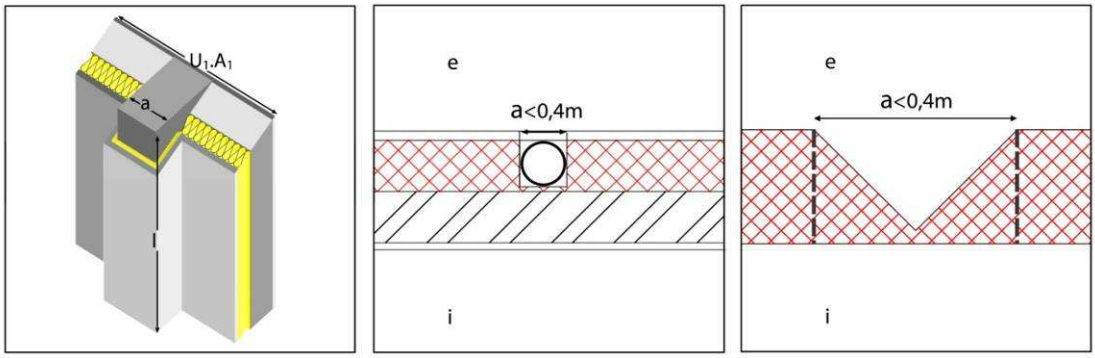


Figure 2.12 En coupe, la plus courte distance entre les deux extrémités des couches isolantes complètes ne peut être plus grande que 0.4 m.

Si cette distance est plus grande que 0.4 m, alors l'interruption doit être considérée comme une paroi à part entière avec son propre coefficient de

transmission thermique U et une superficie A déterminée à partir des dimensions extérieures (Figure 2.13). Il faut remarquer que dans ce cas, deux nœuds constructifs linéaires apparaissent le long des deux côtés de la nouvelle paroi, étant donné qu'à ces endroits, deux parois de la superficie de déperdition se joignent.

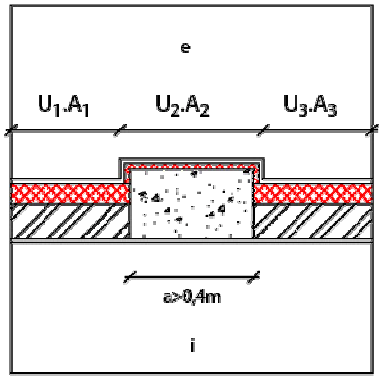


Figure 2.13 Si un pilastre en béton réalisé dans la façade interrompt la couche isolante sur une distance supérieure 0.4 m, ce pilastre doit être considéré comme une paroi distincte avec un coefficient de transmission thermique U et une superficie A déterminée à partir des dimensions extérieures.

ATTENTION

L'exigence de la distance *a* maximale de 0.40 m d'un nœud constructif linéaire n'est valable que pour les nœuds constructifs linéaires dont la couche isolante d'une même paroi est interrompue et ne concerne donc PAS les deux autres types de nœuds constructifs **(§2.2.1 et §2.2.2).**

EXEMPLE
Lors de l'interruption locale d'une couche isolante par un pilastre, celui-ci peut interrompre la couche isolante de la façade sur une largeur de maximum 40 cm. Pour une rive de toiture ou un appui de fondation ('rencontre de deux parois'), il n'y a pas d'exigence de la plus courte distance entre les couches d'isolation de la façade et du toit ou de la façade et du sol !

2.3 Nœud constructif ponctuel

On parle seulement de nœuds constructifs ponctuels lorsque la couche isolante d'une paroi est interrompue ponctuellement.

EXEMPLES
- Colonnes qui traversent la couche isolante d'un plancher au-dessus de l'extérieur, d'un parking, d'une cave, … (Figure 2.14);
- Poutres perpendiculaires à une paroi qui en interrompent la couche isolante ;
- Points de fixation de capteurs solaires, mâts, … qui traversent la couche isolante ;
- Ancrages ponctuels de supports de maçonneries (par exemple supports ponctuels de cornières utilisées localement pour soutenir des maçonneries) ;
- …

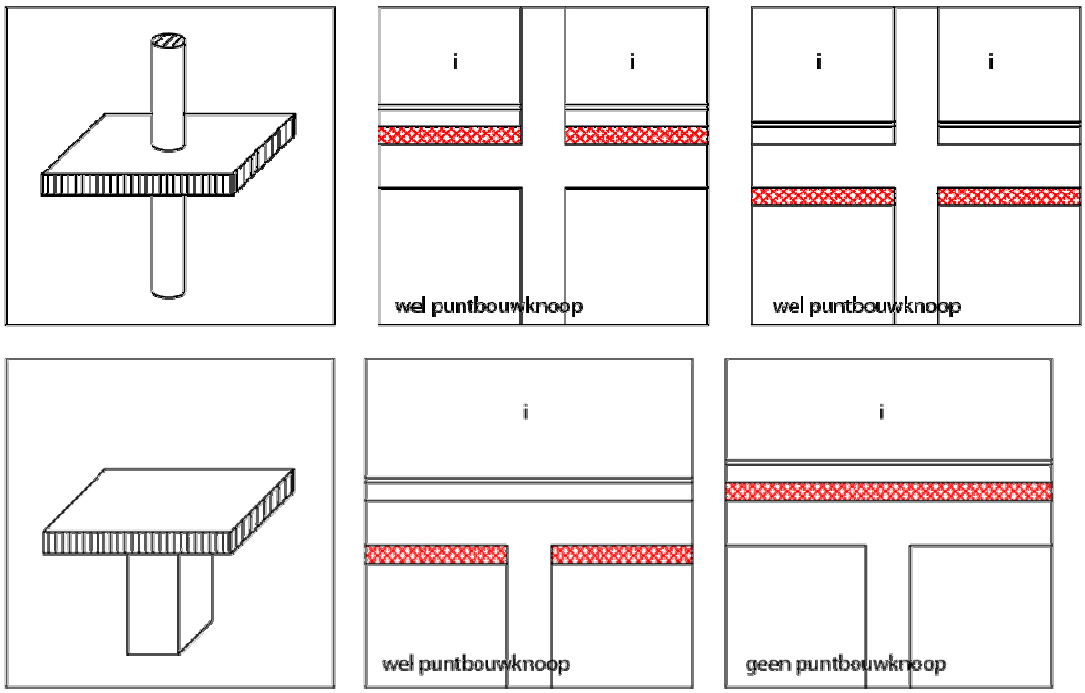


Figure 2.14 Exemples de nœuds constructifs ponctuels. Remarque : sur le dessin en bas, à droite, il n'est pas question d'un nœud constructif ponctuel étant donné que l'isolation est continue à cet endroit.

Un grand nombre de situations qui en principe répondent à cette définition ne sont pas pour autant considérées comme des nœuds constructifs ponctuels. Ces situations sont décrites au §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

2.4 Quelles situations ne sont pas considérées comme des nœuds constructifs

Il y a des situations qui provoquent un transfert thermique 2D ou 3D mais qui ne sont pas considérées comme des nœuds constructifs, soit parce que leur influence sur la déperdition thermique est limitée, soit parce que leur influence est déjà prise en compte dans la perte par transmission à travers les parois de la surface de déperdition.

> **ATTENTION**
> Bien que les situations décrites dans ce paragraphe ne doivent pas être considérées comme des nœuds constructifs, cela ne signifie nullement que l'on est libéré de la responsabilité de prévoir aussi pour ces situations des bonnes solutions. Cela signifie seulement qu'un certain nombre de situations ne doivent pas être prises en compte dans le calcul du niveau K. L'annexe IV de la réglementation PEB n'exempte donc nullement de la responsabilité de limiter le plus possible les risques, par exemple de moisissures et de condensation !

2.4.1 Interruptions propres à une paroi

Comme schématisé à la Figure 2.2 2.2 de la page 5, les interruptions de forme linéaire ou ponctuelle qui sont propres à une paroi et qui sont réparties sur sa surface, ne sont pas considérées comme des nœuds constructifs dans la règlementation PEB. Leur influence doit en effet être prise en compte dans la résistance thermique totale RT ou le coefficient de transmission thermique U de la paroi considérée -soit via une méthode de calcul

simplifiée (document de référence pour les pertes par transmission), soit via un calcul numérique validé.

EXEMPLES

- Montants et traverses en bois dans des murs à ossature bois (Figure 2.15), chevrons et rives dans les toitures à versants, etc.

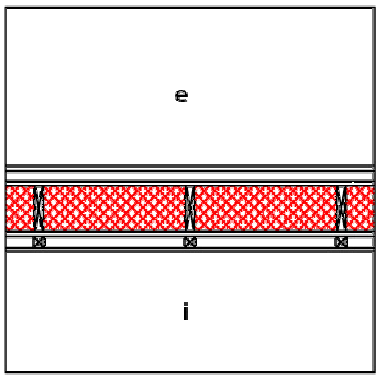


Figure 2.15 La charpente en bois dans des cloisons de bâtiment à ossature bois est propre à la composition de la paroi et de ce fait ne tombe pas dans la catégorie des nœuds constructifs.

- Les raccordements mutuels entre vitrage, écarteur et châssis, ainsi qu'entre panneaux de remplissage, raccord périphérique et châssis dans le cas des fenêtres ;
- Les raccordements entre vitrage, panneaux de remplissage, châssis et montants de fenêtres dans le cas des façades légères ;
- Les crochets de parement.
- Les ancrages / profils Z / … comme support de façades légères / d'habillage de façade[3];
- …

2.4.2 Percements de parois par des passages de canalisations

Des percements de la paroi –hors plan de la paroi– causés par des **gaines de ventilation**, des **conduits de fumée**, des **évacuations d'eau pluviale** et **autres passages de conduites**, ne doivent pas être considérés comme des nœuds constructifs ponctuels.

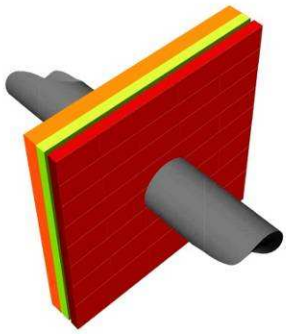


Figure 2.16 Un conduit de fumée qui traverse la couche isolante de la façade, ne doit pas être considéré comme un nœud constructif ponctuel.

[3] Des supports de maçonneries qui sont employés localement, par exemple au droit des baies, doivent être considérés comme nœuds constructifs (linéaires ou ponctuels, suivant le type de support) vu qu'ils ne font pas partie de la paroi 'maçonnerie' et ne sont PAS intégrés à leur surface.

EXEMPLES

- Cheminée ;
- Conduit d'évacuation des fumées d'installation de chauffage ;
- Conduits d'alimentation et d'évacuation de systèmes de ventilation ;
- Pénétration d'impétrants
- Tuyau de descente d'eau de pluie qui traverse la façade ;
- …

> **ATTENTION**
> Les tuyaux de descente d'eau de pluie ou autres canalisations encastrées dans la couche isolante de la façade et parallèles au plan de la façade, ne font pas partie de ces exceptions car ils se trouvent bien dans le plan de la paroi et doivent toujours être considérés comme nœuds constructifs linéaires (voir également §2.2.2 page 10).

2.4.3 Intersection de deux ou trois nœuds constructifs linéaires

A cause de la perte thermique supplémentaire négligeable, l'**intersection de deux ou trois nœuds constructifs linéaires** n'est pas considérée comme un nœud constructif ponctuel.

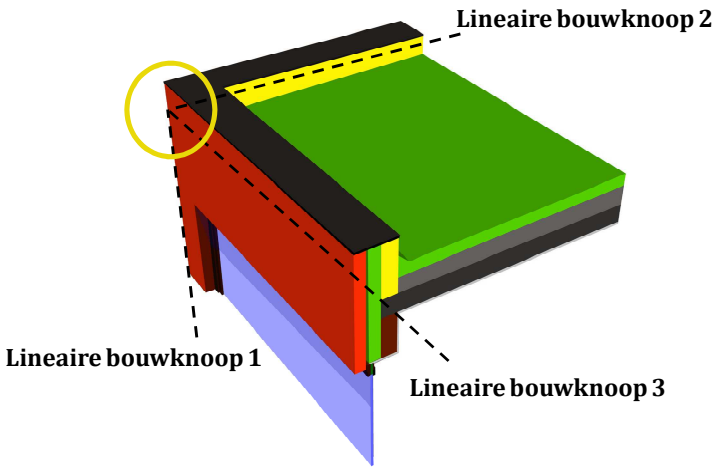


Figure 2.17 L'intersection de trois nœuds constructifs linéaires ne doit pas être prise en compte comme un nœud constructif ponctuel.

2.4.4 En contact direct avec le sol

Lorsqu'on considère des parois qui sont, sur toute leur surface, en contact direct avec le sol (p.ex. plancher sur terre-plein), alors les interruptions de la couche isolante de ces parois ne doivent pas être considérées comme des nœuds constructifs. La perte thermique que ces interruptions provoquent, est en effet négligeable.

EXEMPLES

- Des murs intérieurs qui sont directement posés sur une dalle de sol sur pleine terre et de ce fait provoquent des interruptions de l'isolation de sol projetée, ne doivent pas être considérés comme des nœuds constructifs linéaires (Figure 2.18);

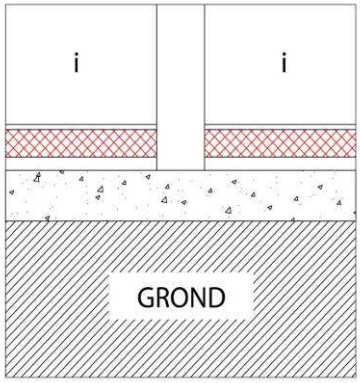


Figure 2.18 Des murs intérieurs sur un plancher sur terre-plein ne doivent pas être considérés comme des nœuds constructifs linéaires.

- Des fondations sur pieux qui supportent une dalle de sol sur terre-plein, ne doivent pas être considérées comme des nœuds constructifs ponctuels ;
- …

Remarque
Cette exception à la règle ne change rien au fait que deux parois qui se rejoignent –même si la jonction se trouve complètement enterrée- constitue TOUJOURS un nœud constructif. Un appui de fondation ou le passage d'un plancher sur terre-plein à un plancher sur cave ou vide technique, restent toujours des nœuds constructifs (Figure 2.19).

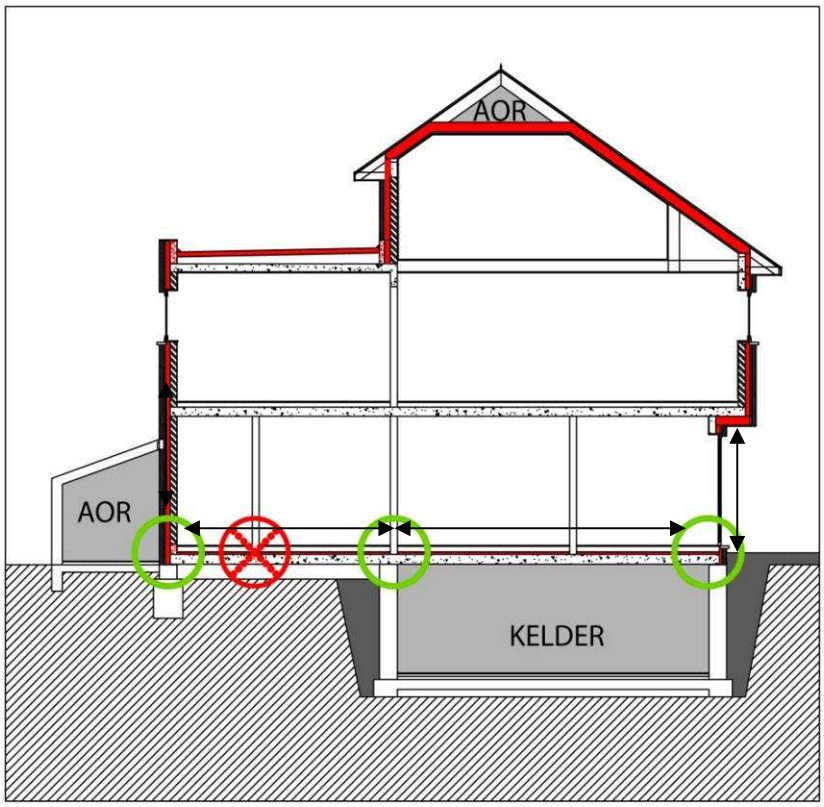


Figure 2.19 Des interruptions dans une même paroi en contact complet avec le sol (croix), ne doivent pas être prises en compte comme des nœuds constructifs. Le raccord enterré ou non de deux parois (cercle) reste toujours un nœud constructif.

2.4.5 Lorsque la couche isolante est continue

A condition que l'on consacre une attention suffisante au détail et à la réalisation, on peut faire en sorte que le nombre de nœuds constructifs du deuxième type (§2.2.2 page 10) soit limité à un minimum. Lorsqu'une paroi est interrompue localement par un matériau différent, mais que la couche isolante reste entièrement conservée (pas d'interruption – pas d'amincissement/élargissement – pas de décalages – pas de changement de direction de la couche isolante), alors la déperdition thermique supplémentaire est négligeable, raison pour laquelle cela NE doit PAS être pris en compte comme un nœud constructif linéaire (Figure 2.20).

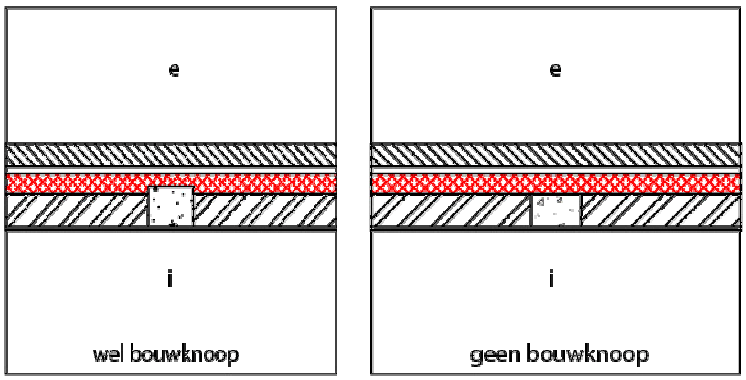


Figure 2.20 Une conception et une réalisation soignées peuvent faire en sorte que les nœuds constructifs (à gauche) soient évités (à droite).

Ainsi par exemple l'appui d'un plancher ne doit pas toujours être considéré comme un nœud constructif. La situation à droit de la Figure 2.21 2.21 n'est pas un nœud constructif (la couche isolante de la façade est continue) tandis que la situation à gauche est bien un nœud constructif (le plancher intérieur interrompt la couche isolante de la façade). La conception du détail détermine donc si on est ici en présence d'un nœud constructif ou non.

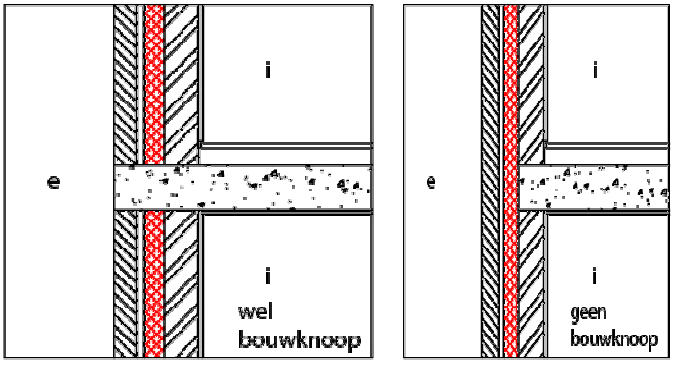


Figure 2.21 Un appui de plancher sur une façade est seulement un nœud constructif si la couche isolante de la façade est interrompue (à gauche).

2.5 Caractéristiques thermiques des nœuds constructifs

2.5.1 Flux de chaleur par transmission

Pour approcher le calcul du flux thermique par transmission des parois, on utilise des méthodes unidimensionnelles normalisées telles que décrites dans le document de

référence pour les pertes par transmission. Dans celui-ci, la méthode de calcul est basée sur les valeurs U. Ces valeurs U tiennent aussi compte de l'effet des interruptions linéaires et/ou ponctuelles qui sont propres à la paroi et qui sont réparties sur sa surface, par exemple : les montants et traverses des constructions à ossature bois, les crochets de maçonneries, …

La valeur U [W/m^{2}K] d'un élément de construction représente le flux de chaleur, d'ambiance à ambiance, qui se produit à travers 1 m^2 de l'élément de construction pour une différence de température de 1K. Cela signifie que le flux de chaleur par transmission Q [W] à travers un élément de construction d'une surface A [m^2] pour une différence de température ΔT [K] est caractérisé de manière univoque par la valeur U :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad [W]$$

Lorsqu'on considère un plan de façade avec une structure homogène et une valeur U bien déterminée (Figure 2.22), alors les isothermes (=lignes d'égale température) seront toujours parallèles au plan de la façade et les lignes de flux de chaleur perpendiculaires à celui-ci.

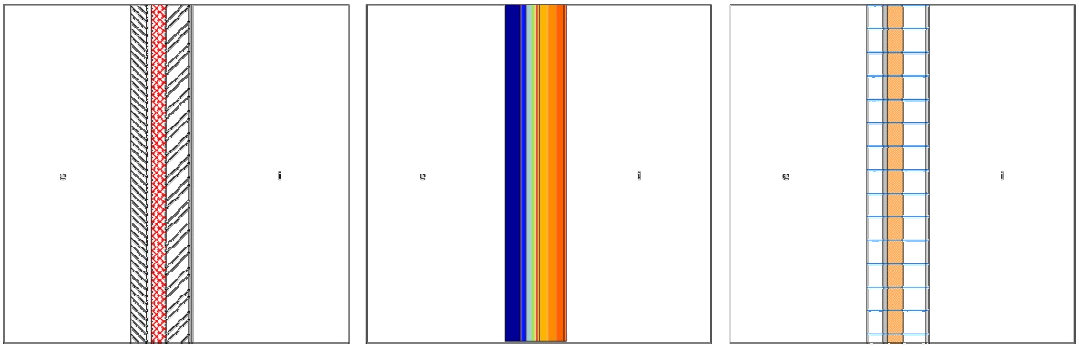


Figure 2.22 Un plan de façade avec une structure homogène présente des isothermes parallèles au plan de façade (au milieu) et des lignes de flux perpendiculaires au plan de façade (à droite).

Dans les nœuds constructifs, les isothermes et les lignes de flux diffèrent de ce modèle unidimensionnel et la méthode de calcul sur base des valeurs U n'est plus correcte (Figure 2.23).

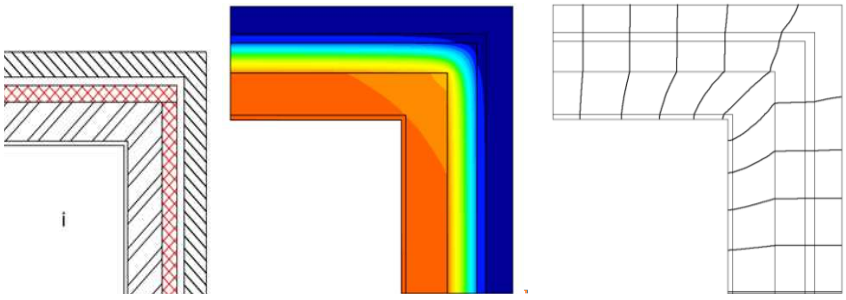


Figure 2.23 A certains endroits de l'enveloppe les isothermes et les lignes de flux diffèrent du modèle unidimensionnel.

Un calcul numérique bi- ou tridimensionnel validé est nécessaire pour pouvoir déterminer le flux thermique par transmission à l'endroit des nœuds constructifs.
A partir de là, on peut déduire le coefficient de transmission thermique linéaire ou ponctuel (voir §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) des nœuds constructifs, par lequel le flux thermique par transmission –calculé de manière unidimensionnelle - est corrigé.

2.5.2 Coefficient de transfert thermique par transmission H_T

Le flux thermique total qui se produit par transmission, pour une différence de température d'un Kelvin entre les environnements intérieur et extérieur, est exprimé par le *coefficient de transfert thermique par transmission*, dont le symbole est H_T [W/K]. Ce flux thermique total comprend trois composantes (Figure 2.24) : un flux thermique direct vers l'environnement extérieur (H_D), un flux thermique via le sol et via les caves non chauffées et les vides techniques en contact avec le sol (H_g) et un flux thermique via des espaces adjacents non chauffés (H_U).

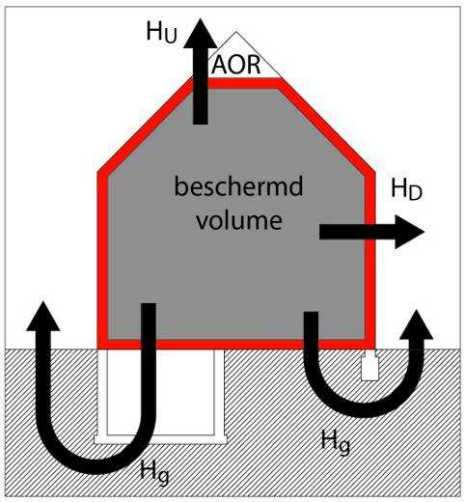


Figure 2.24 Le coefficient de transfert de chaleur H_T est la somme de trois composantes : $H_T = H_D + H_g + H_U$.

Chacune de ces composantes comprend un flux thermique à travers les parois ($H_x^{constructions}$) et un flux thermique à travers les nœuds constructifs ($H_x^{junctions}$).

Le flux thermique à travers les parois ('*constructions*') se produit de manière unidimensionnelle et est caractérisé par les valeurs U des parois. Ces valeurs U sont calculées par les méthodes qui se trouvent dans le document de référence pour les pertes par transmission

Le flux thermique à travers les nœuds constructifs ('*junctions*') diffère du transport de chaleur à travers les parois. Cela conduit localement à une surestimation ou à une sous-estimation du transfert thermique qui se produit réellement, et qui est représenté par les coefficients de transmission thermique linéaires et ponctuels.

Vu que H_D, H_g et H_U comprennent chacun une partie de flux thermique à travers les parois et une partie de flux thermique à travers les nœuds constructifs, H_T peut également être divisé entre ces deux parties :

$$H_T = H_D + H_g + H_U$$
$$= \left(H_D^{constructions} + H_D^{junctions}\right) + \left(H_g^{constructions} + H_g^{junctions}\right) + \left(H_U^{constructions} + H_U^{junctions}\right)$$
$$= H_T^{constructions} + H_T^{junctions}$$

$$H_T = H_D + H_g + H_U = \left(H_D^{constructions} + H_D^{junctions}\right) + \left(H_g^{constructions} + H_g^{junctions}\right) + \left(H_U^{constructions} +$$

Le terme $H_T^{constructions}$ est défini dans le document de référence pour les pertes par transmission et prend en compte uniquement les flux thermiques par transmission à travers les parois de la surface de déperdition. Le terme $H_T^{junctions}$ est défini dans l'annexe

IV et prend en compte uniquement les flux thermiques par transmission à travers les nœuds constructifs (voir §3).

2.5.3 Symboles de nœuds constructifs

Les performances thermiques de nœuds constructifs sont caractérisées par le coefficient de transmission thermique linéaire Ψ (exprimé en W/mK) ou le coefficient de transmission thermique ponctuel χ (exprimé en W/K). Ces coefficients de transmission thermique indiquent quel supplément doit être ajouté au transport de chaleur qui a été calculé à partir des valeurs U.

Vu que le calcul de référence est basé sur les dimensions extérieures ('exterior'), pour l'univocité, un suffixe est joint au symbole : Ψ_e et χ_e.

Le **coefficient de transmission thermique linéaire Ψ_e** d'un nœud constructif linéaire est défini par :

$$\Psi_e = \frac{\Phi_{2D} - \Phi_{1D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} \quad \left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$$

avec :

- Φ_{2D} : le flux thermique total qui s'échappe de l'environnement intérieur, évalué à l'aide d'un calcul numérique bidimensionnel validé [W] (Figure 2.25) ;
- Φ_{1D} : le flux thermique total qui s'échappe de l'environnement intérieur calculé suivant le modèle de référence unidimensionnel. Dans ce cas, le détail est décomposé en une série d'éléments de construction plans. Le calcul de référence du transport de chaleur se fait sur base des dimensions extérieures et est caractérisé par les valeurs U_i et les surfaces A_i des parois de la superficie de déperdition qui se rejoignent au droit du nœud constructif. Sa valeur est : $\Phi_{1D} = \sum U_i A_i (\theta_i - \theta_e)$ [W] (Figure 2.25);
- L : la longueur correspondante de nœud constructif [m];
- θ_i - θ_e : la différence de température entre les environnements intérieur et extérieur [K].

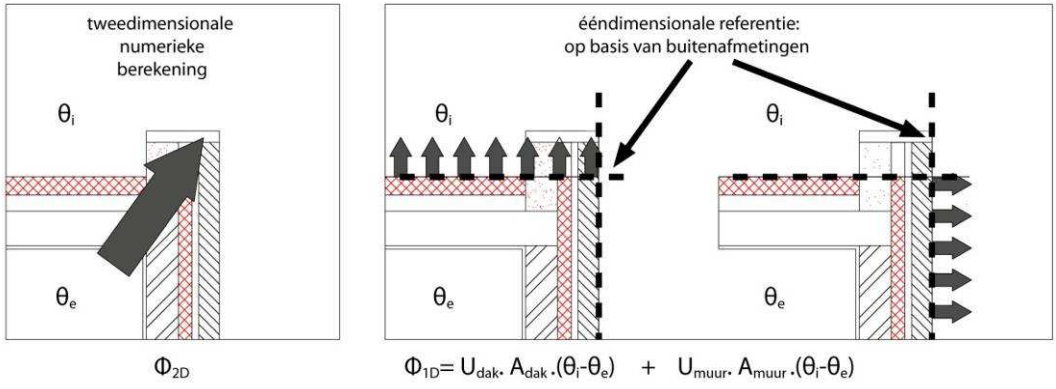


Figure 2.25 Le flux thermique bidimensionnel Φ_{2D} et le flux thermique suivant le modèle de référence unidimensionnel Φ_{1D} .

Le coefficient de transmission thermique ponctuel χ_e d'un nœud constructif ponctuel est déterminé de manière analogue : $\chi_e = \frac{\Phi_{3D} - \Phi_{2D}}{\theta_i - \theta_e} \quad \left[\frac{W}{K}\right]$

Avec:

- Φ_{3D} : le flux thermique total qui s'échappe de l'environnement intérieur, évalué à l'aide d'un calcul numérique tridimensionnel validé [W] ;
- Φ_{2D} : le flux thermique total qui s'échappe de l'environnement intérieur calculé suivant le modèle de référence bidimensionnel. Dans ce cas, le détail est décomposé en une série d'éléments de construction plans. Le transport de chaleur est alors déterminé par les valeurs U_i et les surfaces A_i des parois de la surface de déperdition (sur base des dimensions extérieures) et des éventuels coefficients de transmission linéaires $\Psi_{e,k}$ et longueurs L_k pour les nœuds constructifs linéaires formés par la jonction entre deux parois. Sa valeur est $\Phi_{2D} = \sum U_i A_i (\theta_i - \theta_e) + \sum \psi_{e,k} L_k (\theta_i - \theta_e)$ [W];
- θ_i - θ_e : la différence de température entre les environnements intérieur et extérieur [K].

On peut classer de manière univoque les valeurs U de différentes parois de « thermiquement performant » (valeur U basse) à « thermiquement non-performant » (valeur U haute). Pour les valeurs Ψ et χ, c'est plus compliqué, du fait que ces valeurs ne dépendent pas uniquement de la qualité thermique du nœud constructif mais aussi de sa géométrie.
Par exemple, contrairement aux valeurs U, les valeurs Ψ ou χ peuvent être négatives. Cela se produit lorsque le calcul de référence amène une surévaluation du flux thermique réel apparent ($\Phi_{1D} > \Phi_{2D/3D}$) par laquelle Ψ_e ou χ_e peuvent devenir négatifs suivant les définitions ci-dessus. Etant donné que, dans notre pays, le calcul de référence est basé sur les dimensions extérieures, cela se produit fréquemment avec les 'angles extérieurs'. On peut constater sur la Figure 2.26 2.26 à gauche que la zone d'angle d'un angle extérieur est comptée deux fois et, de ce fait, Φ_{1D} devient facilement plus grand que Φ_{2D}. Dans le cas d'un angle intérieur par contre (Figure 2.26 à droite), la zone d'angle n'est pas comptée et, de ce fait, Φ_{1D} devient facilement plus petit que Φ_{2D}.

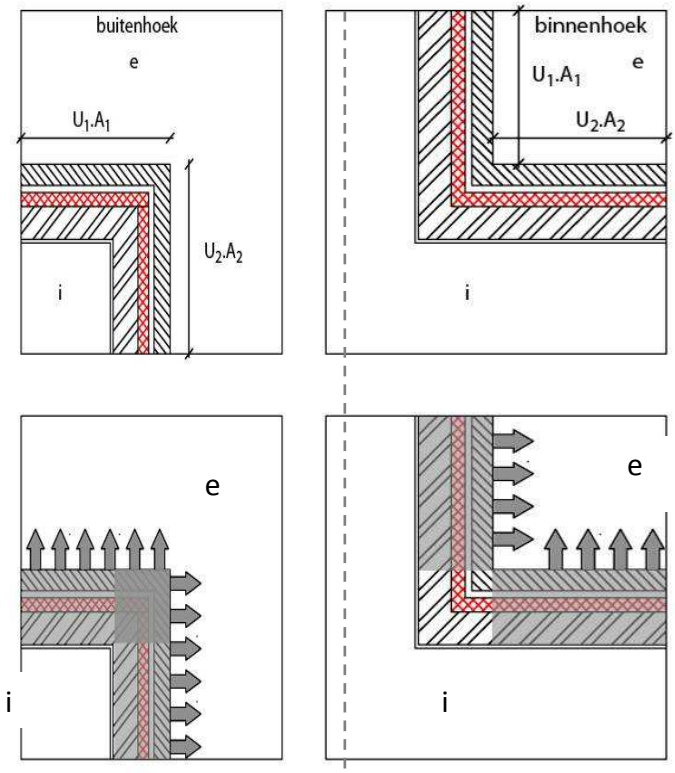


Figure 2.26 Bien que le détail de l'angle extérieur (à gauche) et l'angle intérieur (à droite) sont thermiquement équivalents, cela ne se traduit pas nécessairement par une valeur Ψ identique. A cause d'une surévaluation de la déperdition thermique réelle, un angle extérieur présente le plus souvent une valeur Ψ fortement négative, c'est à l'inverse une valeur Ψ plutôt positive pour un angle intérieur en raison d'une sous-évaluation de la déperdition thermique effective.

3 CALCUL DU FLUX THERMIQUE PAR TRANSMISSION DES NOEUDS CONSTRUCTIFS SELON 3 OPTIONS

Comme indiqué au §2.5.2, le flux thermique par transmission à travers les nœuds constructifs est représenté par le terme $H_T^{junctions}$. Ce terme doit être considéré comme le flux thermique qui se produira à travers tous les nœuds constructifs d'un volume protégé lorsqu'on applique une différence de température de 1 Kelvin entre le volume protégé et l'environnement extérieur.

L'annexe IV de l'arrêté PEB prévoit trois options possibles pour déterminer le terme $H_T^{junctions}$ et son impact sur le niveau K. Les trois options et leur influence sur le niveau K sont représentées schématiquement à la Figure 3.1 3.1 et commentées dans ce chapitre.

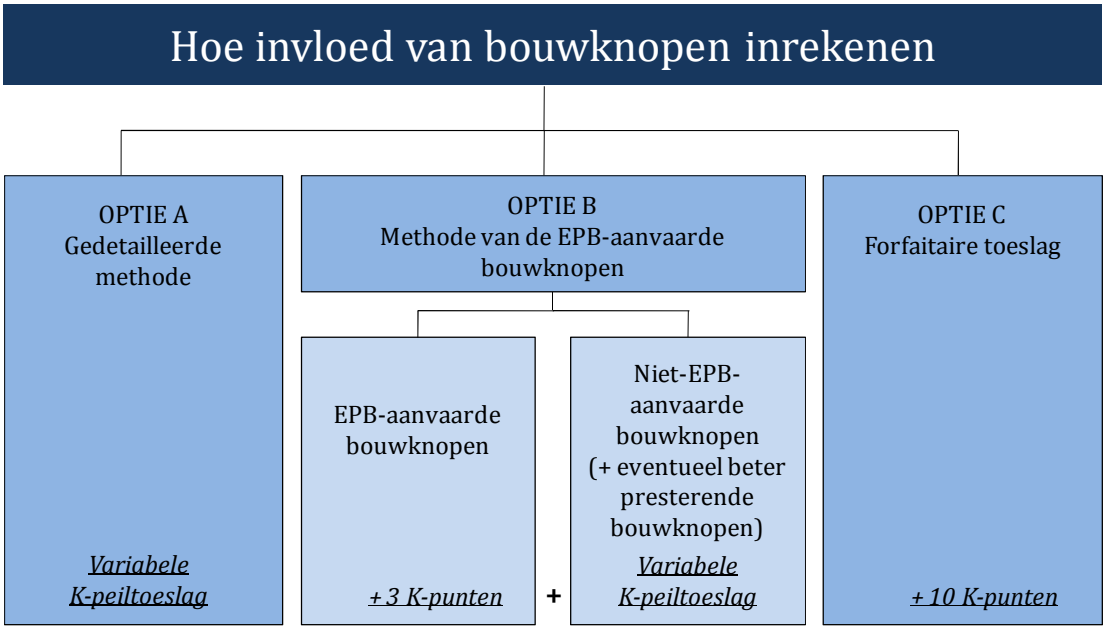


Figure 3.1 Schéma des trois options possibles pour calculer l'influence des nœuds constructifs et leur impact sur le niveau K.

1 volume de niveau K = 1 option !

Une des trois options DOIT être choisie par volume de niveau K. Il n'est donc pas possible de ne pas tenir compte les nœuds constructifs.

Cela signifie également qu'il n'est pas possible de choisir plusieurs options pour différentes parties du projet à l'intérieur d'un même volume de niveau K. Une fois qu'une option est retenue pour le volume de niveau K, chaque partie du projet et chaque sous-dossier doit tenir compte des nœuds constructifs suivant cette option.

3.1 Option A: Méthode détaillée

Avec cette option, le terme $H_T^{junctions}$ est déterminé le plus exactement possible par un calcul numérique de l'influence des nœuds constructif à l'aide d'un logiciel validé. On peut choisir de calculer le bâtiment dans son ensemble (§**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ou de calculer séparément chacun des nœuds constructifs (§3.1.2).

3.1.1 Calcul numérique au niveau de l'ensemble du bâtiment

Au niveau de l'ensemble du bâtiment, il n'est pas fait de distinction claire entre les parois et les nœuds constructifs, mais le bâtiment est modélisé et calculé numériquement dans son ensemble (Figure 3.2). Cela implique qu'il n'y a pas que la géométrie du bâtiment qui doit être introduite, mais aussi les matériaux utilisés et les détails à l'endroit des nœuds constructifs

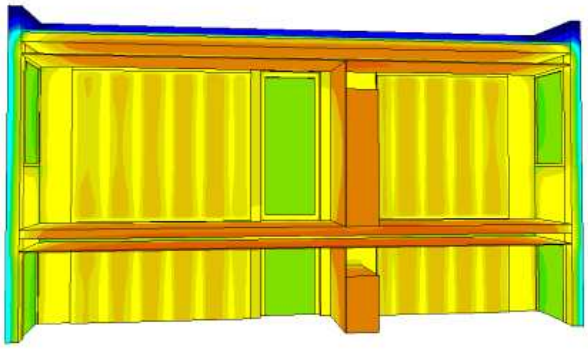


Figure 3.2 Modélisation 3D et calcul numérique du bâtiment complet

Ce calcul numérique fournit le coefficient de transfert thermique par transmission H_T^{3D} qui représente la déperdition thermique totale par transmission du bâtiment complet pour une différence de température de 1 Kelvin entre l'intérieur et l'extérieur. Cette déperdition thermique totale englobe aussi bien le flux thermique au travers des parois ($H_T^{constructions}$) que le flux thermique au travers des nœuds constructifs ($H_T^{junctions}$). Si on retire $H_T^{constructions}$ de H_T^{3D}, il reste le terme $H_T^{junctions}$:

$$H_T^{3D} = H_T^{constructions} + H_T^{junctions}$$

$$\Leftrightarrow$$

$$H_T^{junctions} = H_T^{3D} - H_T^{constructions}$$

De tels calculs numériques nécessitent un travail conséquent avec des connaissances et des logiciels spécialisés.

3.1.2 Calcul numérique au niveau des nœuds constructifs

Au niveau des nœuds constructifs, le coefficient de transfert thermique est déterminé pour chaque nœud constructif séparément : une valeur Ψ_e est déterminée pour chaque nœud constructif linéaire et une valeur χ_e pour chaque nœud constructif ponctuel. A partir du nombre de mètres courants de nœuds constructifs linéaires (l_k) et du nombre de nœuds constructifs ponctuels, le terme $H_T^{junctions}$ peut être synthétisé comme suit :

$$H_T^{junctions} = \sum_k l_k b_k \Psi_{e,k} + \sum_l b_l \chi_{e,l} \quad \left[\frac{W}{K}\right]$$

Vu que le terme $H_T^{junctions}$ est fortement dépendant du projet, le supplément sur le niveau K n'est pas non plus connu à l'avance.

Pour les valeurs de Ψ_e et χ_e, par nœud constructif, on peut choisir:

- La valeur **exacte** de $\boldsymbol{\Psi_e}$ et/ou $\boldsymbol{\chi_e}$ est déterminée d'après un calcul numérique validé.
- On utilise une **valeur par défaut** (§5). Dans ce cas, il faut garder en mémoire que les valeurs par défaut sont particulièrement défavorables. L'utilisation systématique de valeurs par défaut sur l'ensemble d'un bâtiment conduira, dans la plupart des cas, à une valeur pénalisante.
- On ne réalise aucun calcul numérique validé mais une utilise une **valeur par défaut**. Dans ce cas, il faut garder en mémoire que les valeurs par défaut sont défavorables. L'utilisation systématique de valeurs par défaut sur l'ensemble d'un bâtiment conduira, dans la plupart des cas, à une pénalisation particulièrement élevée (probablement souvent supérieure à 10 points K). Les valeurs par défaut sont dès lors uniquement destinées comme solution facile pour les nœuds constructifs (de préférence avec une longueur et/ou un nombre limité) dont les coefficients de transmission thermique linéaires et ponctuels Ψ_e et χ_e ne sont pas facilement disponibles.

Étant donné que le terme $H_T^{junctions}$ dépend fortement du projet, la pénalité sur le niveau K n'est pas connue d'avance.

3.2 Option B: Méthode des nœuds PEB-conformes

Cette option a pour objectif de permettre la prise en compte des nœuds constructifs d'une manière pragmatique et simple. Des recherches sur les logements existants ont montré que l'influence de nœuds constructifs bien étudiés s'élevait à environ 3 points K sur le niveau K total d'un logement. Si on peut montrer que les nœuds constructifs sont effectivement bien étudiés (*à savoir : PEB-conformes*), alors un supplément forfaitaire de 3 points K est prévu pour ces nœuds constructifs. Les nœuds constructifs qui ne satisfont pas les critères sont comptés séparément.

L'influence totale des nœuds constructifs est prise en compte de la manière suivante :

- Pour les noeuds constructifs qui sont PEB-conformes (*définition des 'nœuds PEB-acceptés' au§***Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), un supplément forfaitaire de 3 points K sur le niveau K est prévu. Dès qu'on a démontré que les nœuds constructifs étaient effectivement des nœuds PEB-conformes, aucun calcul supplémentaire n'est nécessaire. Le terme $H_{T,1}^{junctions}$ est automatiquement déterminé à partir de la compacité du volume de niveau K et de la surface de déperdition.

- Lorsqu'un nœud constructif n'est pas PEB-conforme, alors son influence sur la déperdition thermique doit être ajoutée. Cela se fait de la même façon que dans

l'option A sauf que dans ce cas, c'est la différence entre les valeurs Ψ_e et $\Psi_{e,lim}$ qui est prise en compte :

$$H_{T,2}^{junctions} = \sum_k l_k b_k (\psi_{e,k} - \psi_{e,k,lim}) + \sum_l b_l \chi_{e,l} \quad \left[\frac{W}{K}\right]$$

Il est important de constater que la formule ci-dessus permet de réduire le supplément de 3 point K. C'est le cas lorsque la valeur Ψ_e des nœuds constructifs PEB-conformes est connue et que Ψ_e est plus petit que $\Psi_{e,lim}$. On obtient dès lors un terme négatif dans $H_{T,2}^{junctions}$.

La somme de $H_{T,1}^{junctions}$ et $H_{T,2}^{junctions}$ donne le total de l'influence des nœuds constructifs pour l'option B. Cette comme a toutefois été limitée à zéro et ne peut donc jamais être négative ! Cela signifie qu'il est possible avec $H_{T,2}^{junctions}$ de diminuer le forfait des 3 points K mais jamais jusqu'à obtenir un nombre négatif dans l'option B. De même, le soin apporté à la conception et à l'exécution des ponts thermiques ne peut jamais entraîner un niveau K *avec* prise en compte des nœuds constructifs inférieur au niveau K *sans* cette prise en compte. Si on veut améliorer le résultat, on doit choisir l'option A.

Vu que l'option B prévoit une possibilité de démontrer d'une manière simple et particulièrement visuelle qu'un nœud constructif est bien étudié, cette option a pour avantage que le calcul total pour la prise en compte des nœuds constructifs est réduit à un minimum. Il n'est pas nécessaire ici de déterminer les valeurs Ψ_e et χ_e, ni les longueurs des nœuds constructifs linéaires ou le nombre des nœuds constructifs ponctuels.

3.3 Option C: Pénalité forfaitaire

Lorsque le maître d'œuvre et/ou le maître de l'ouvrage ne font pas d'effort pour limiter la déperdition thermique au droit des nœuds constructifs, l'influence inconnue des nœuds constructifs sur la déperdition thermique totale est fixée par une pénalité forfaitaire de 10 points sur le niveau K est, dans ce cas, appliquée[4].

Il est important de faire remarquer que cette option, exactement comme l'option précédente, ne décharge pas le maître d'œuvre de la responsabilité de réduire au minimum absolu les risques dus aux ponts thermiques, par exemple de moisissures et de condensation.

[4] Cette pénalité n'est pas appliquée pour le calcul des besoins de refroidissements et de l'indicateur de surchauffe.

4 NŒUDS PEB-CONFORMES

Dans l'option B, un supplément forfaitaire au niveau K est attribué pour les *"noeuds constructifs PEB-conformes"*. Il s'agit de nœuds constructifs dont la configuration n'amène aucune perte énergétique excessive et qui peuvent donc être considérés comme des nœuds constructifs 'à pont thermique négligeable'.

Il y a deux manières de déterminer qu'un nœud constructif est PEB-conforme :

- Le nœud constructif répond à une des règles de base d'une configuration à pont thermique négligeable (voir §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).
- Le nœud constructif satisfait à la valeur limite qui est d'application. C.-à-d. il faut que pour le nœud constructif : $\Psi_e \leq \Psi_{e,lim}$ (voir §4.2).

Un schéma de principe est présenté à la Figure 4.1 4.1. Il est important de constater qu'il n'est pas nécessaire de satisfaire aux deux conditions ensemble. Il est donc possible qu'un nœud constructif satisfasse la valeur $\Psi_{e,lim}$ mais pas à une des règles de base ou, inversement, qu'un nœud constructif satisfasse bien à une des règles de base mais pas à la valeur $\Psi_{e,lim}$.

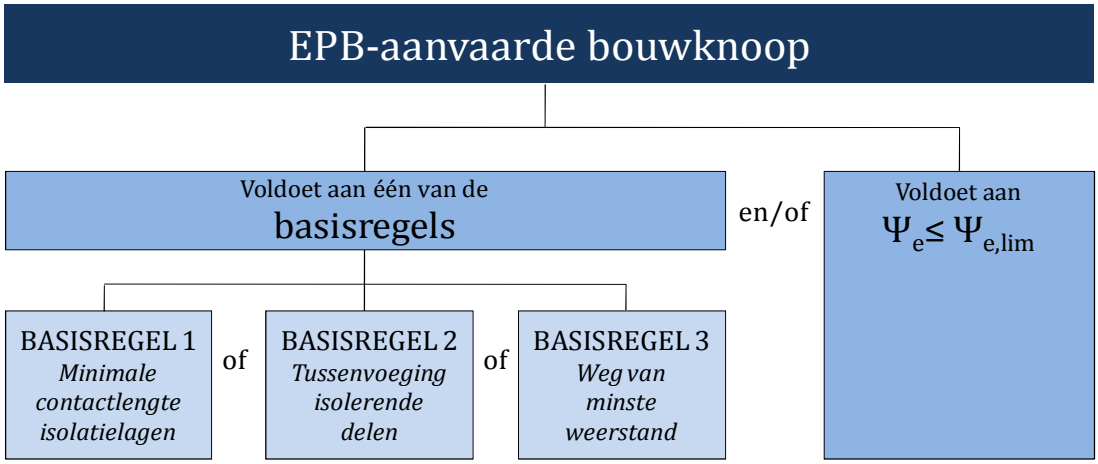


Figure 4.1 Schéma de principe pour un nœud constructif PEB-conforme

4.1 Condition 1 : Satisfaire à une des règles de base pour un détail à faible pont thermique

Les règles de base permettent, d'une manière simple et principalement visuelle, de déterminer si un nœud constructif est PEB-conforme ou non. Le calcul est de ce fait fortement simplifié, vu qu'aucun calcul numérique validé n'est exigé.

Les règles de base pour un détail à pont thermique négligeable sont basées sur le principe de la 'coupure thermique' garantie. Cela signifie que les couches isolantes de 2 parois jointives de la surface de déperdition doivent s'accoler de manière toujours continue. Cela signifie au moins qu'on 'peut parcourir à l'aide d'un crayon les couches isolantes et les parties isolantes intercalées sans devoir relever ce crayon' (Figure 4.2).

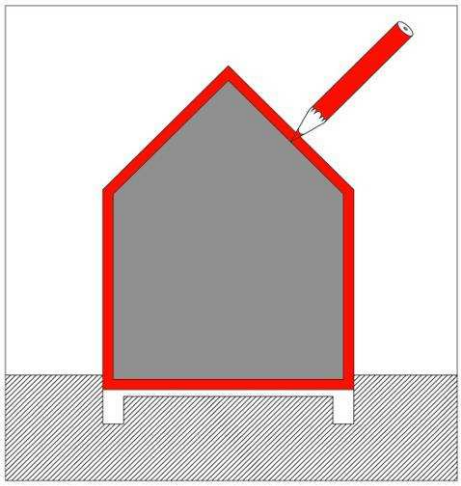


Figure 4.2 Principe de la continuité de la coupure thermique : les couches isolantes se rejoignent.

La condition peut être satisfaite par une des deux situations suivantes :

- ✓ **REGLE DE BASE 1: Continuité des couches isolantes grâce à une épaisseur de contact minimale**
  Les couches isolantes sont jointes directement l'une à l'autre avec une épaisseur de contact minimale.

- ✓ **REGLE DE BASE 2: Continuité des couches isolantes grâce à l'interposition d'éléments isolants**
  Les couches isolantes ne se joignent pas directement mais il y a bien des éléments isolants intercalés de sorte que la coupure thermique est conservée.

Cependant lorsque les deux règles de base ci-dessus ne permettent pas de garantir la coupure thermique, une troisième règle de base est prévue :

- ✓ **REGLE DE BASE 3: Longueur du chemin de moindre résistance**
  Les couches isolantes *ne* se joignent *pas* directement et la coupure thermique *ne* peut *pas* être assurée mais le chemin de moindre résistance est suffisamment long.

Si un nœud constructif satisfait à une de ces trois règles de base, le nœud constructif est par définition PEB-conforme.

COUCHE ISOLANTE

Les 'règles de base pour un détail à pont thermique négligeable' se focalisent chacune sur les couches isolantes des parois et sur d'éventuels éléments isolants. Les éléments constructifs et autres qui les entourent sont ici laissés de côté. Il est important de définir clairement ce que l'on entend par couche isolante d'une paroi de la surface de déperdition.

La couche isolante d'une paroi de la surface de déperdition est par définition *la couche de matériau avec la plus grande résistance thermique*. Dans la plupart des cas ce qu'on entend par là est clair (Figure 4.3).

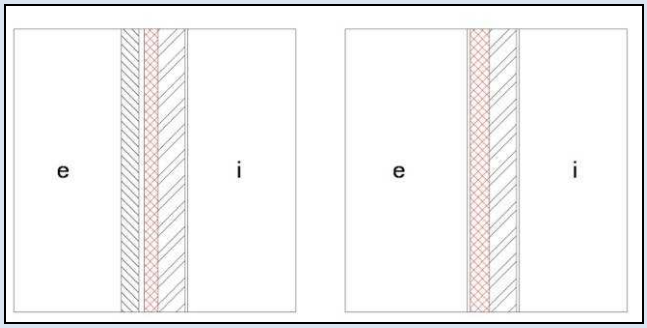


Figure 4.3 Dans la plupart des cas, la couche isolante d'une paroi de la surface de déperdition est clairement identifiable, par exemple dans le cas d'un mur creux classique (à gauche) ou d'un mur massif en maçonnerie avec isolation extérieure (à droite).

Pour une couche de construction non homogène, la résistance thermique doit être prise en compte en pondérant la conductivité thermique selon la superficie. Si une isolation est par exemple placée dans une ossature bois, la résistance thermique R de cette couche isolante d'épaisseur d est déterminée par :

$$R = \frac{d}{\lambda_{isol} f_{isol} + \lambda_{wood} f_{wood}} \left[\frac{m^2 K}{W}\right]$$

avec f_{isol} la fraction de superficie d'isolation et f_{wood} la fraction de superficie de bois ($f_{isol} + f_{wood} = 1$).

La couche isolante peut également être constituée de plusieurs couches de matériaux, homogènes ou non (*les membranes doivent être négligées*). A condition que :

- les couches accolées de matériaux se succèdent ET
- il n'y ait aucune couche d'air intercalée ET
- chacune des couches de matériaux ait une valeur λ inférieure ou égale à 0.2 W/mK.

S'il est répondu à ces conditions, les couches isolantes doivent être considérées comme une couche isolante assemblée, avec une épaisseur d égale à la somme des épaisseurs de chacune des couches d_i et la résistance thermique R égale à la somme des résistances thermiques de chacune des couches R_i (pour une couche isolante non homogène, la résistance thermique R_i. est déterminée comme expliqué ci-dessus).

Des exemples sont illustrés à la Figure 4.4 4.4.

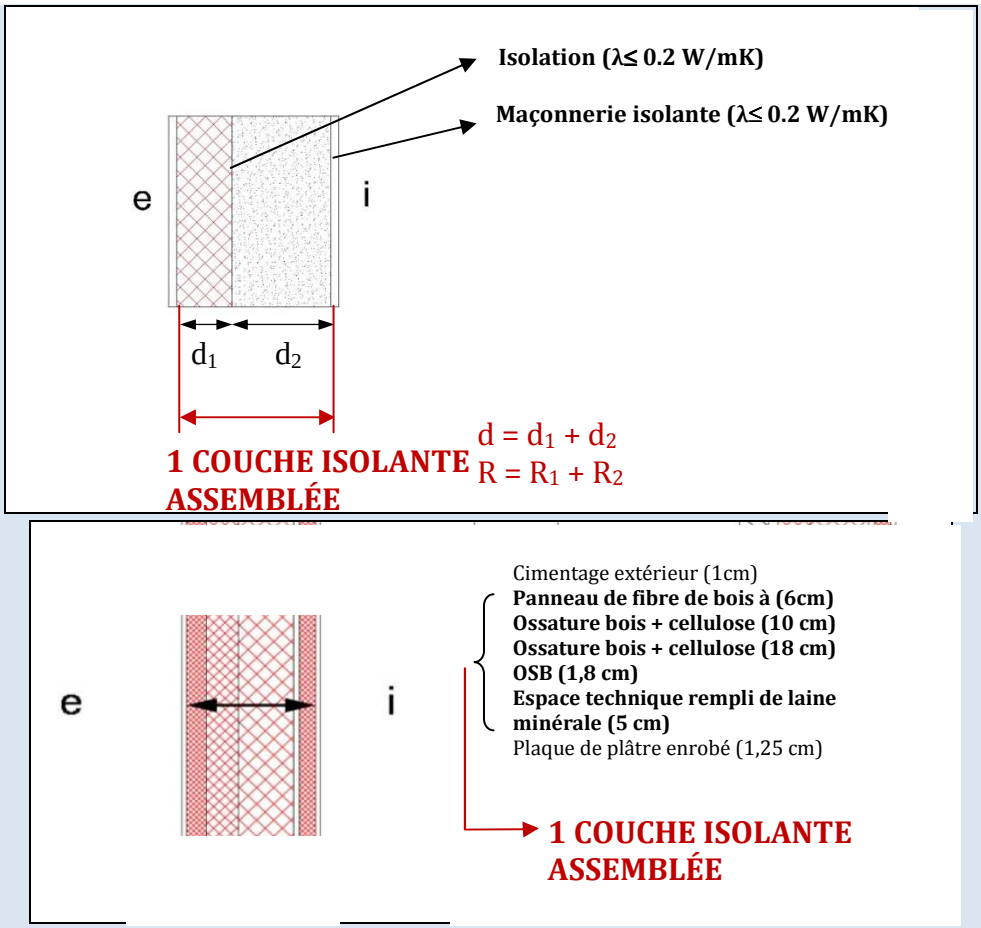


Figure 4.4 Plusieurs couches accolées de matériaux (sans couche d'air), chacune avec une valeur λ ≤0.2 W/mK, doivent être considérées ensemble comme une couche isolante assemblée avec une épaisseur et une résistance thermique égales aux sommes de celles des couches de matériaux

Dans la plupart des cas la résistance thermique totale R de la couche isolante assemblée sera la plus grande résistance thermique de la paroi. Si c'est le cas, alors la couche isolante assemblée est la 'couche d'isolation ' de la paroi.

Il est important d'insister sur le fait qu'une succession ininterrompue de couche de matériaux qui satisfont aux conditions ci-dessus, *doit* être considérée comme une couche isolante assemblée. On ne peut donc pas considérer une seule des couches de matériaux comme la couche isolante. Ceci pour éviter que les règles de base – dont la rigueur est liée à la qualité isolante des couches isolantes au droit du nœud – puissent être appliquées de manière trop laxiste. Cela signifie que dans les règles de base la somme des épaisseurs *d* et la somme des résistances thermiques *R* doivent toujours être utilisées.

Pour l'application des règles de base, il ne peut y avoir qu'une seule couche d'isolation. Si par exemple, outre l'isolation du creux, une isolation par l'extérieur devait être placée, alors une seule des deux, c'est-à-dire celle avec la plus grande résistance thermique, peut être considérée comme 'la couche isolante de la paroi' (Figure 4.5).

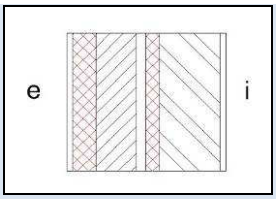


Figure 4.5 En cas de combinaison d'une isolation dans le creux et par l'extérieur, seule la couche avec la plus grande résistance thermique peut être considérée comme couche isolante de la paroi.

4.1.1 Règle de base 1 : épaisseur minimale de contact des couches isolantes

Cette règle de base est d'application aux nœuds constructifs où les couches isolantes des parois qui se joignent peuvent se connecter directement l'une à l'autre, comme par exemple la jonction de deux murs (Figure 4.6) ou celle d'un toit en pente avec un mur extérieur.

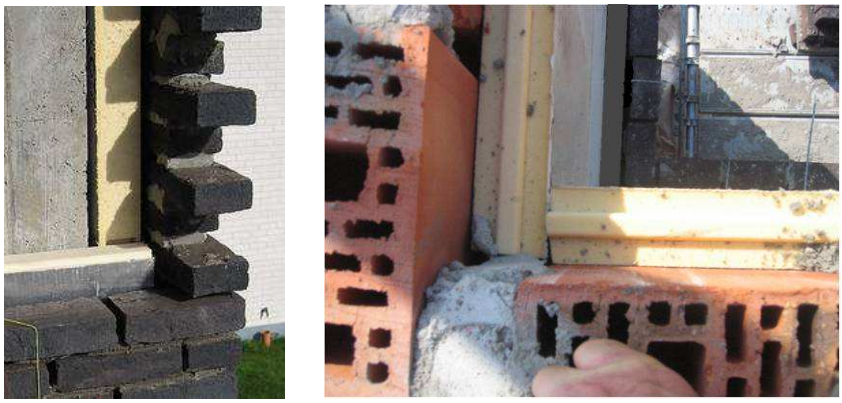


Figure 4.6 Lorsque deux couches isolantes peuvent être mises en contact directement entre elles, la règle de base 1 est d'application.

Du point de vue thermique, la meilleure solution pour ces nœuds constructifs est de joindre au maximum les couches isolantes l'une à l'autre, ce qui signifie que l'épaisseur de contact entre les deux couches isolantes ($d_{contact}$) doit être la plus grande possible. Du point de vue pratique cette situation n'est pas toujours faisable. C'est pourquoi, la règle de base 1 prévoit la possibilité de s'écarter jusqu'à une certaine limite de cette situation thermiquement idéale.

La règle de base 1 impose que l'épaisseur de contact $d_{contact}$ dépende de l'épaisseur des couches isolantes qui se joignent (d_1 en d_2) : *$d_{contact}$ ne peut jamais être inférieur à la moitié de la plus petite des épaisseurs d_1 et d_2*. Sous forme de formule, cela donne ceci :

Règle de base 1

$$d_{contact} \geq ½ * min\ (d_1, d_2)$$

avec

$d_{contact}$	=	l'épaisseur de contact des couches isolantes entre les faces froide et chaude;
d_1 en d_2	=	les épaisseurs respectives des couches isolantes des 2 parois qui se joignent.

La règle de base 1 est représentée à la Figure 4.7 4.7. Au plus les couches isolantes sont épaisses, au plus l'épaisseur de contact doit être grande.

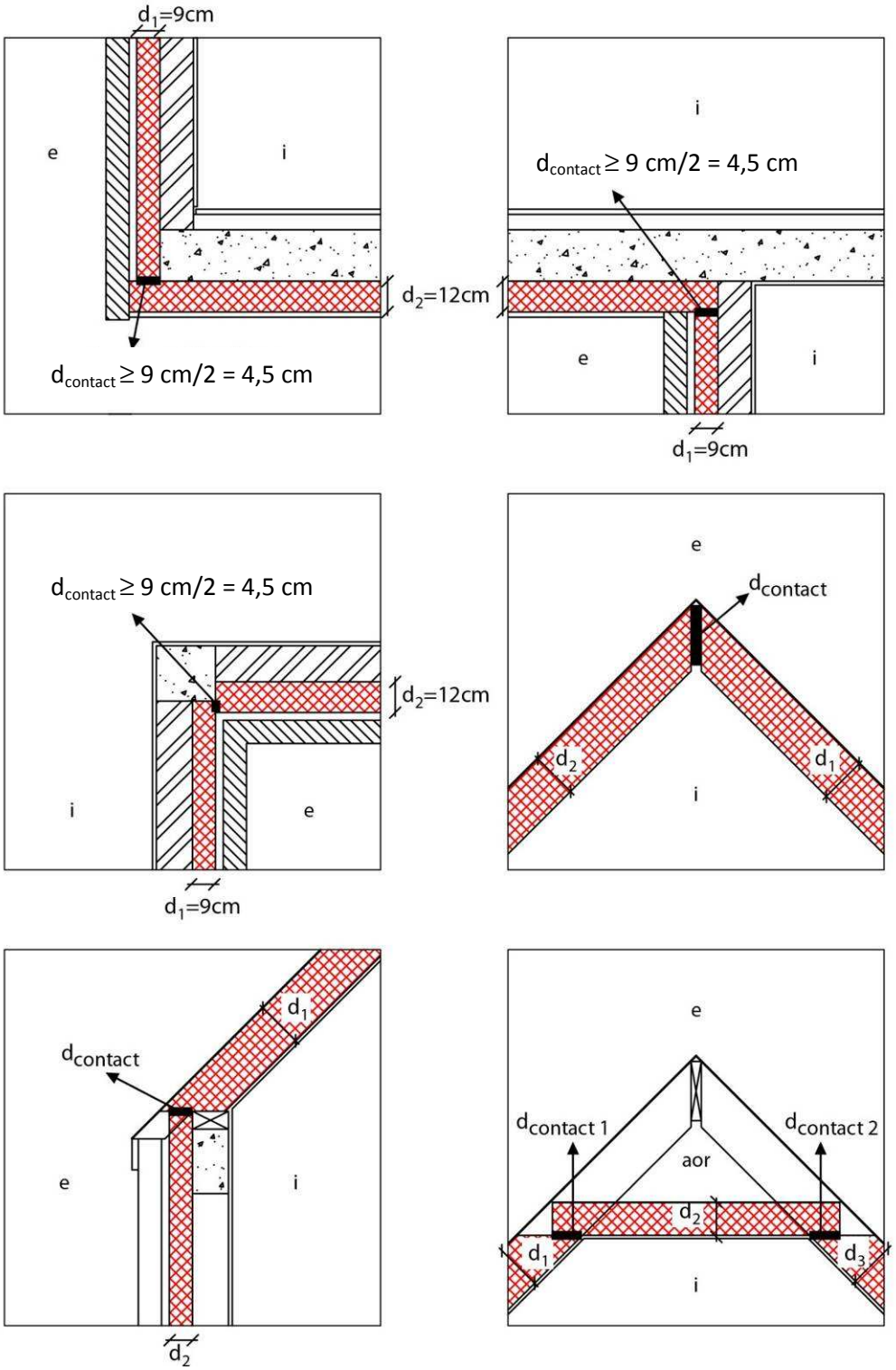
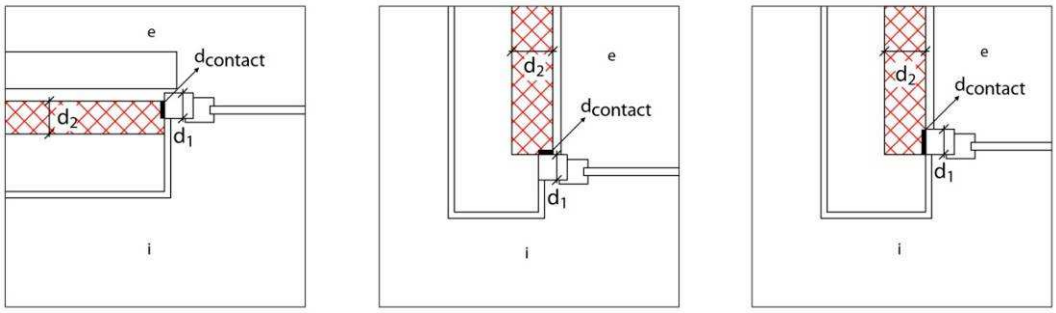


Figure 4.7 Règle de base 1: épaisseur minimale de contact des couches isolantes

CHASSIS DE FENETRE OU DE PORTE

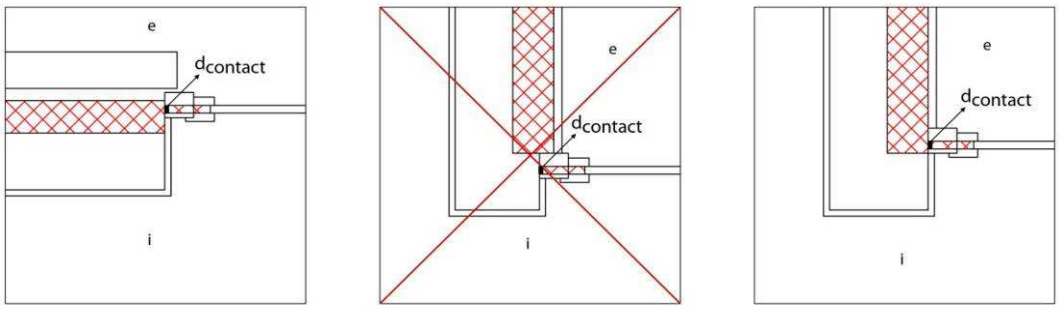
Dans le cas des **châssis de fenêtre ou de porte <u>sans</u> coupure thermique**, la formule de base 1 reste valable mais l'épaisseur d_i du châssis de fenêtre ou de porte doit être

interprété comme l'épaisseur du cadre fixe du châssis de fenêtre ou de porte mesuré perpendiculairement au plan du vitrage (Figuur 4.8).



Figuur 4.8 Règle de base 1 pour les châssis de fenêtre ou de porte sans coupure thermique : d_2 est l'épaisseur du cadre fixe du châssis de porte ou de fenêtre mesurée perpendiculairement au plan du vitrage.

Dans le cas de **châssis de porte ou de fenêtre <u>avec</u> coupure thermique**, on n'utilise pas la formule générale de la règle de base 1, mais la couche isolante (de la paroi) doit nécessairement être en contact direct avec la coupure thermique et ce sur toute l'épaisseur de la coupure thermique (Figuur 4.9).



Figuur 4.9 Règle de base 1 pour châssis de fenêtre ou de porte avec coupure thermique : La coupure thermique doit sur toute son épaisseur être en contact direct avec la couche isolante (la deuxième solution à partir de la gauche n'est donc pas autorisée).

4.1.2 Règle de base 2 : interposition d'un élément isolant.

Cette règle de base est d'application pour les nœuds constructifs où les couches isolantes ne peuvent pas se raccorder directement l'une à l'autre mais où il existe bien la possibilité d'intercaler des *éléments isolants*. Ces éléments isolants assument localement la fonction d'isolation thermique des couches isolantes, de manière à maintenir ainsi la coupure thermique, comme par exemple au raccord d'un toit plat avec un mur extérieur ou à un appui de fondation.

Figuur 4.10 Des éléments isolants peuvent, suivant la règle de base 2, être intercalés pour assurer la coupure thermique, par exemple à l'endroit d'un acrotère (à gauche) et à l'endroit d'un appui de fondation (à droite).

La règle de base 2 indique que tous les éléments isolants doivent répondre simultanément aux trois exigences représentées sur le schéma ci-dessous (Figure 4.11).

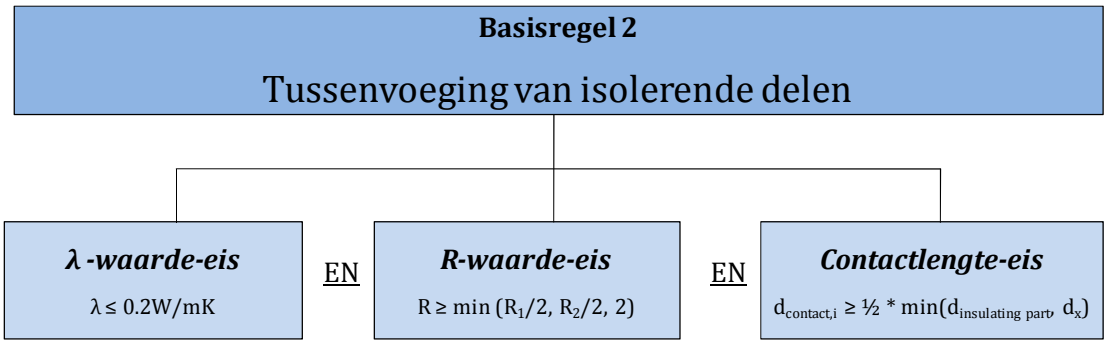


Figure 4.11 Règle de base 2: Chacun des éléments isolants doit répondre simultanément à 3 exigences.

Chacune des trois exigences est expliquée ci-dessous.

4.1.2.1 Exigence de valeur λ

La conductivité thermique $\lambda_{insulating\ part}$ de chacun des éléments isolants doit être inférieure ou égale à 0.2 W/mK :

Exigence de valeur λ : $\lambda_{insulating\ part} \leq 0.2$ W/mK
avec
$\lambda_{insulating\ part}$ = la conductivité thermique de l'élément isolant.

Cette conductivité thermique doit être déterminée en conformité avec l'Annexe A du document de référence pour les pertes par transmission.

Remarque
Il est parfois nécessaire de placer des fixations mécaniques qui percent localement l'élément isolant, telles que des ancrages de fenêtres, des chevilles, … Si ces fixations mécaniques ont une valeur $\lambda > 0.2$ W/mK et si elles relient les faces chaude et froide de l'isolant, la superficie totale de ces fixations mécaniques ne peut dépasser 1 cm^2 par mètre courant de nœud constructif.

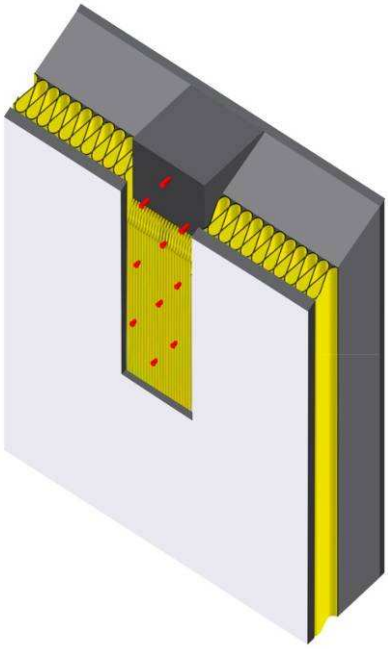


Figure 4.12 Pour garantir la coupure thermique d'un pilastre en béton, une partie isolante peut être fixée par exemple avec des chevilles métalliques (rouge), à condition que la superficie totale des sections de fixations ne dépasse pas 1 cm2 par mètre courant de noeud de construction.

4.1.2.2 Exigence de valeur R

Étant donné qu'un élément isolant peut assumer localement la fonction thermique d'une couche isolante, la résistance thermique R de l'élément isolant doit être suffisamment grande. Exactement comme pour la règle de base 1, l'exigence est reliée aux caractéristiques de la (des) couche(s) isolante(s) environnante(s) : plus est la capacité d'isolation des couches isolantes est grande (déterminée par les résistances thermiques R_1 et R_2), plus la résistance thermique R d'un élément isolant inséré doit être grande également.

a. Formulation

L'exigence sur la valeur R impose que la résistance thermique de chaque élément isolant ne peut être inférieure à la moitié de la plus petite des valeurs R_1 et R_2. Pour que l'exigence de valeur R reste supportable dans le cas de fortes isolations, une limite à été fixée pour R, à savoir 2 m^2K/W. Sous forme de formule, cela donne ceci :

Exigence de valeur R : $R \geq min (R_1/2, R_2/2, 2)$		
avec		
R	=	la résistance thermique d'un élément isolant ;
R_1 en R_2	=	les résistances thermiques des couches isolantes des parois.

La formule ci-dessus peut être facilement comprise à l'aide de l'exemple ci-dessous :
Supposons qu'on ait les couches isolantes 1 et 2 avec les caractéristiques suivantes :

- Couche isolante 1: d_1 = 0.22m – λ_1 = 0.040 W/mK donc R_1 = 5.5 m²K/W
- Couche isolante 2: d_2 = 0.20m – λ_2 = 0.035 W/mK donc R_2 = 5.71 m²K/W.

R doit alors en principe être plus grand ou égal à la moitié du plus petit, 5.5/2 = 2.75 m²K/W. Vu que cette valeur est plus grande que la limite supérieure de 2 m²K/W, il suffit de fixer à 2 m²K/W la résistance thermique R de chaque élément isolant.

CHÂSSIS DE FENÊTRE OU DE PORTE

Lorsque un châssis de fenêtre ou de porte joint le nœud constructif, l'exigence de valeur R de la règle de base 2 est légèrement adaptée. Il n'est notamment pas tenu compte de la valeur U_f du châssis de fenêtre ou de porte mais uniquement de la résistance thermique de la couche isolante de la paroi opaque. En même temps la limite supérieure est abaissée à 1.5 m²K/W dans le cas de fortes isolations.

Exigence de valeur R pour des châssis de fenêtre ou de porte: $R \geq \min(R_1/2, 1.5)$

avec

R	=	la résistance thermique d'un élément isolant ;
R_1	=	la résistance thermique de la couche isolante de la paroi opaque.

b. Résistance thermique R d'un élément isolant

La valeur R [m²K/W] d'un élément isolant est déterminée de la manière suivante :

$$R = \frac{d_{insulating\ part}}{\lambda_{insulating\ part}}$$

avec $d_{insulating\ part}$ l'épaisseur [m] et $\lambda_{insulating\ part}$ [W/mK] la conductivité thermique de l'élément isolant.

Pour la détermination de $d_{insulating\ part}$ une distinction doit être faite entre éléments isolants orthogonaux et non-orthogonaux :

- Dans le cas d'**éléments isolants orthogonaux**, (cas le plus fréquent) l'épaisseur $d_{insulating\ part}$ doit toujours être mesurée perpendiculairement à la ligne de coupure thermique qui les traverse (Figure 4.13). La manière de tracer une ligne de coupure thermique est expliquée à la page 22. Lorsque la ligne de coupure thermique traverse l'élément isolant suivant deux directions, alors il y a deux valeurs R pour un même élément isolant. Dans ce cas les deux valeurs R doivent forcément répondre à l'exigence de valeur R.

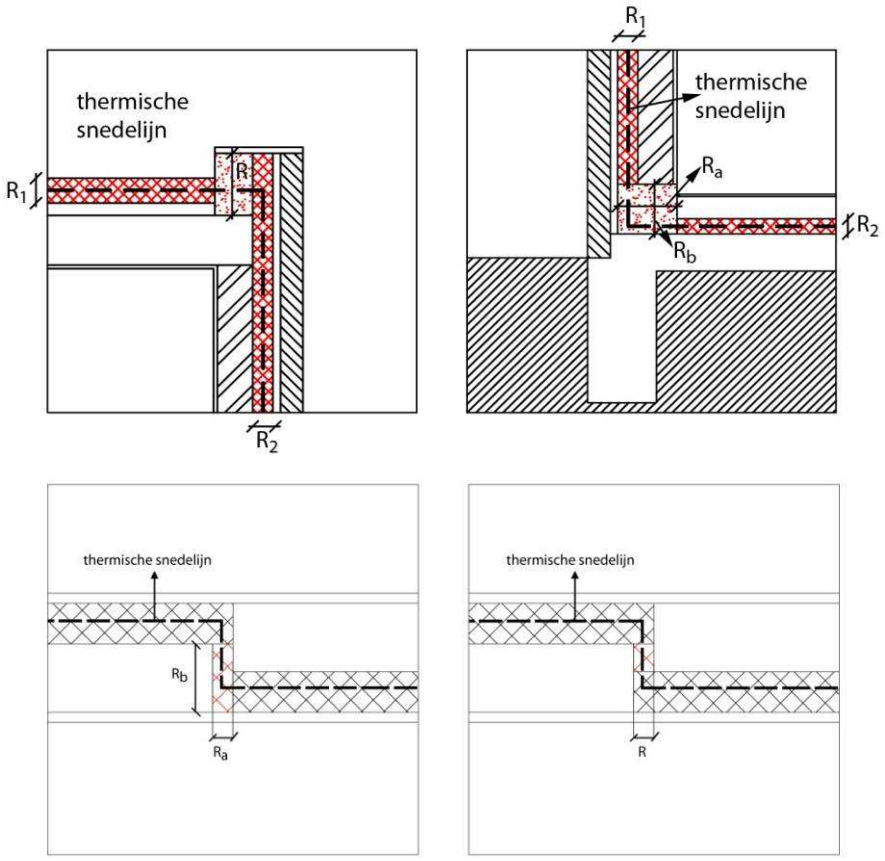


Figure 4.13 Dans le cas des éléments isolants orthogonaux, l'épaisseur $d_{insulating\ part}$ est mesurée perpendiculairement à la ligne de coupure thermique.

- Dans le cas plus particulier des **éléments isolants non-orthogonaux**, il ne faut pas mesurer en fonction de la ligne de coupure thermique mais il faut uniquement relever la plus courte distance qui sépare la face chaude de la face froide de l'élément isolant. Cette plus courte distance constitue notamment le point 'faible' de l'élément isolant et détermine de ce fait la valeur minimale de la résistance thermique R de l'élément isolant.

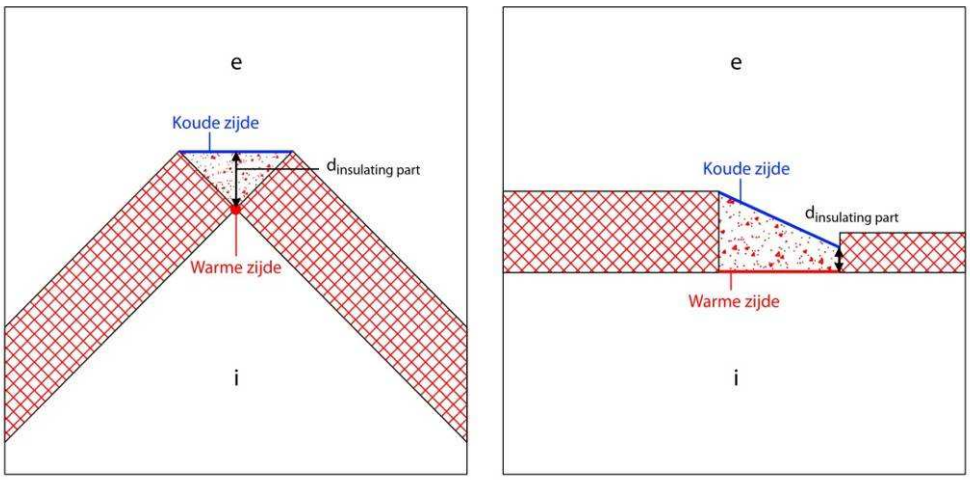


Figure 4.14 Dans le cas des éléments isolants non- orthogonaux, l'épaisseur $d_{insulating\ part}$ est définie comme la plus courte distance entre le côté chaud et le côté froid de l'élément isolant.

Dans certains cas, il est permis d' « additionner » l'influence de différents éléments isolants. Les épaisseurs et les résistances thermiques des différents éléments isolants peuvent être additionnées dans une direction perpendiculaire à la ligne de coupure thermique si chacun des éléments isolant a une valeur $\lambda \leq 0.2$ W/mK ET qu'il n'y a aucune couche d'air entre eux. Cela permet de considérer les différents éléments isolants comme un élément isolant 'homogène' avec une épaisseur *d* égale à la somme des épaisseurs d_i de chacun des éléments isolants et la résistance thermique *R* égale à la somme des résistances thermiques R_i de chacun des éléments isolants.

LIGNE DE COUPURE THERMIQUE

Lorsqu'une ligne ininterrompue peut être tracée d'une couche isolante à une autre en passant à travers les éléments isolants, alors il est toujours possible de tracer une ligne de coupure thermique. Pour éviter autant que possible les lignes courbes et obliques, il a été imposé qu'une ligne de coupure thermique doit être le plus possible parallèle aux limites des couches isolantes et des éléments isolants qu'elle traverse (Figure 4.15).

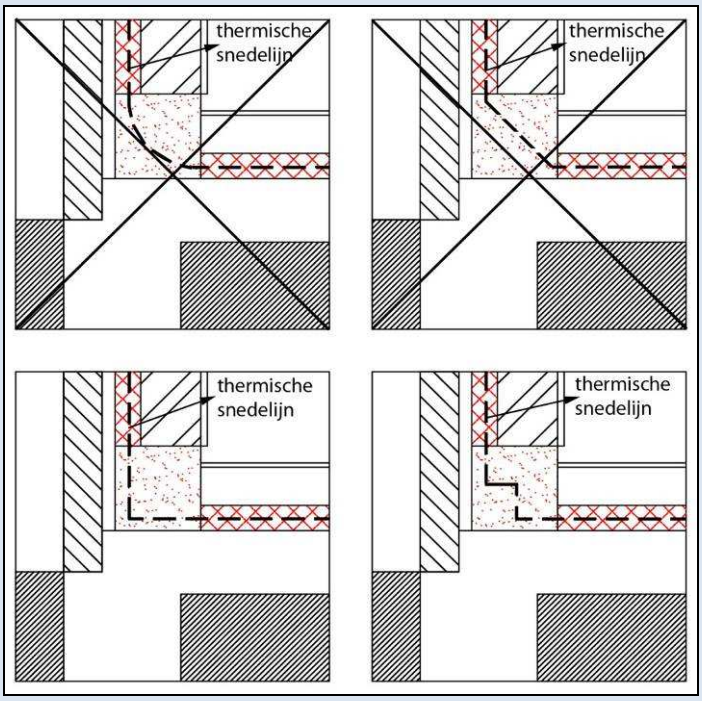


Figure 4.15 Une ligne de coupure thermique doit être le plus possible parallèle aux limites des couches isolantes et des éléments isolants qu'elle traverse.

La position de ligne de coupure thermique n'est pas importante, tant qu'elle répond à la définition (ligne ininterrompue à travers et si possible parallèle aux couches isolantes et éléments isolants). Cela implique qu'à partir du moment où une ligne de coupure thermique peut être tracée, une infinité de lignes de coupure thermique peut être tracée. Si l'exigence de valeur R est respectée pour une ligne de coupure thermique, alors elle l'est pour toutes les lignes de coupure thermique.

Dans le cas de châssis de fenêtre et de porte avec coupure thermique, une ligne de coupure thermique doit passer par la coupure thermique du châssis (Figure 4.16).

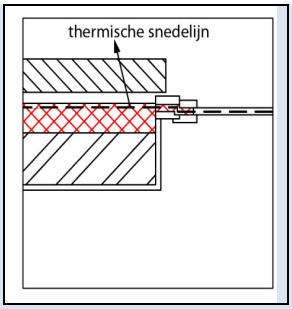


Figure 4.16 Dans le cas de châssis de fenêtre et de porte <u>avec</u> coupure thermique, la ligne de coupure thermique doit passer à travers la coupure thermique de ce châssis.

4.1.2.3 <u>Exigence d'épaisseur de contact</u>

La troisième et dernière exigence de la règle de base 2 est étroitement liée à la règle de base 1. La situation dans laquelle deux couches isolantes se joignent directement est en effet très comparable à la situation dans laquelle un élément isolant joint directement une couche isolante ou un autre élément isolant. Dans les deux situations, les épaisseurs des éléments ou couches qui se joignent jouent un rôle dans la formulation de l'exigence.

Exigence d'épaisseur de contact : $d_{contact,i} \geq min\ (d_{insulating\ part}/2,\ d_x/2)$

avec

$d_{contact,i}$	=	l'épaisseur de contact à l'endroit du raccord i ;	de contactlengte
$d_{insulating\ part}$	=	l'épaisseur d'un élément isolant ;	de dikte van een
d_x	=	l'épaisseur, soit de la couche isolante en contact, soit d'un autre élément en contact.	de dikte van hetz aansluitend ande

L'exigence d'épaisseur de contact doit être lue de la manière suivante (voir Figure 4.17) : si un élément isolant d'une épaisseur $d_{insulating\ part}$ est accolé à une couche isolante, alors d_x est à considérer comme l'épaisseur de la couche isolante et la moitié de la plus petite des deux épaisseurs est la limite inférieure de l'épaisseur de contact entre eux.
Si un élément isolant d'une épaisseur $d_{insulating\ part}$ est accolé à un autre élément isolant, alors d_x est à considérer comme l'épaisseur de l'autre élément isolant et, à nouveau, la moitié de la plus petite des deux épaisseurs est la limite inférieure de l'épaisseur de contact entre eux.

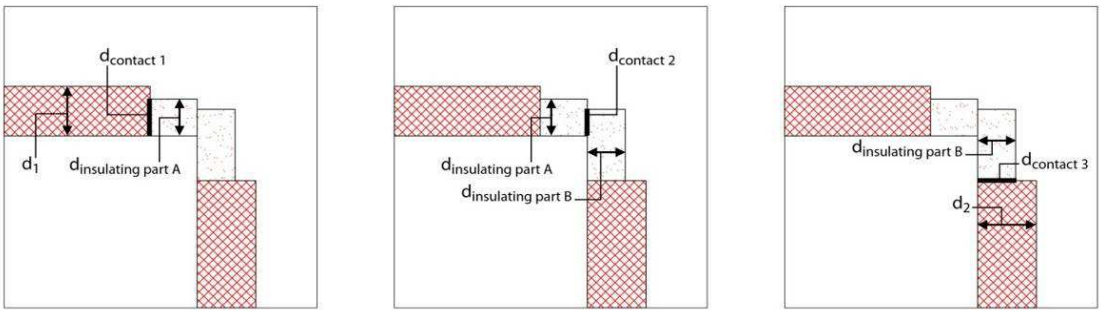


Figure 4.17 De l'exigence d'épaisseur de contact doit être respectée pour tous les raccords.

CHÂSSIS DE FENETRE OU DE PORTE

Si un élément isolant joint un **châssis de fenêtre ou de porte <u>sans</u> coupure thermique**, alors d_x est égal à l'épaisseur du cadre fixe du châssis de fenêtre ou de porte, mesurée perpendiculairement au plan du vitrage.

Si un élément isolant joint un **châssis de fenêtre ou de porte <u>avec</u> coupure thermique**, alors il faut que l'élément isolant soit en contact direct avec la coupure thermique et ce sur toute l'épaisseur de la coupure thermique

4.1.3 Règle de base 3: Longueur du chemin de moindre résistance

Il existe des situations dans lesquelles les couches isolantes ne peuvent pas se joindre directement et dans lesquelles il n'est pas possible d'intercaler un élément isolant (par exemple, pour des raisons de stabilité). La coupure thermique ne peut pas, dans de telles situations, être conservée. Cela ne signifie pas pour autant qu'on ait à faire à un détail mal étudié. La règle de base 3 prévoit en effet une possibilité d'obtenir quand même, sans coupure thermique, un nœud constructif PEB-conforme.

La 3ème règle de base suppose que le flux thermique suivra toujours le chemin le plus facile de l'intérieur vers l'extérieur (Figure 4.18). Si la coupure thermique n'est pas présente, alors cela signifie que le flux thermique suit le chemin vers l'extérieur qui passe par l'interruption des couches isolantes, ce que l'on appelle le 'chemin de moindre résistance'. Le 'chemin de moindre résistance' ne passe donc jamais à travers une couche isolante.

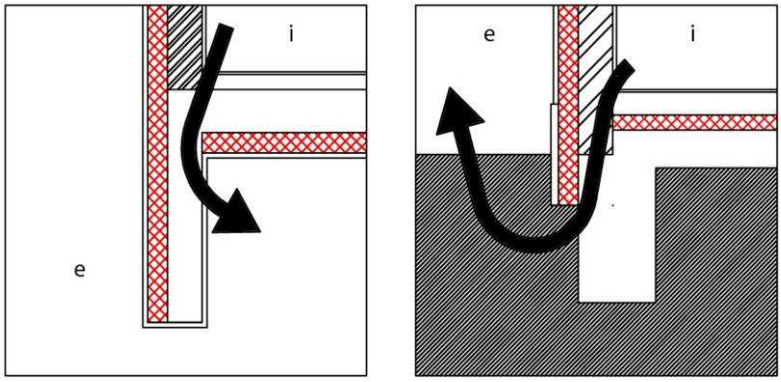


Figure 4.18 Si la coupure thermique n'est pas conservée, alors la 3ème règle de base suppose que le flux thermique suivra le chemin de moindre résistance, entre les couches isolantes.

Le chemin de moindre résistance est strictement défini comme *le plus court trajet entre l'environnement intérieur et l'environnement extérieur ou un espace adjacent non chauffé qui ne coupe nulle part une couche d'isolante ou un élément isolant dont la résistance thermique est plus grande ou égale à la plus petite des deux résistances* R_1 *et* R_2 (= les résistances thermiques des couches isolantes des parois). Cela signifie qu'on doit dessiner, sur le plan de coupe du nœud constructif, la ligne la plus courte, de l'intérieur vers l'extérieur ou vers un EANC qui ne coupe nulle part une couche isolante. Si la longueur totale de cette ligne est inférieure à 1 mètre, alors il est recommandé d'ajouter de l'isolant, **à condition que cet isolant présente une résistance thermique plus grande ou égale à la plus petite valeur de** R_1 **et** R_2. Le chemin de moindre résistance doit contourner les 'obstacles', ce qui l'allonge automatiquement et permet de satisfaire l'exigence pour le nœud constructif.

On parle de nœud PEB-conforme lorsque le chemin de moindre résistance est suffisamment long, à savoir, plus grand ou égal à 1 mètre (Figure 4.19). Lorsque c'est le cas, le flux thermique doit franchir une distance suffisamment grande et la déperdition thermique peut rester limitée.

Règle de base 3
$l_i \geq$ 1 mètre

avec

l_i = le chemin de moindre résistance.

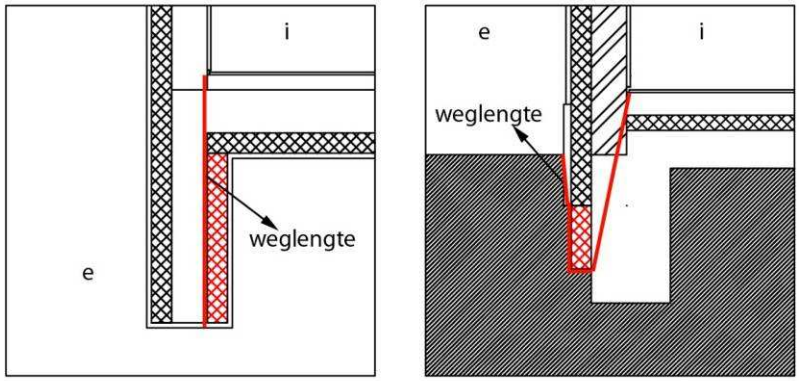


Figure 4.19 La longueur du chemin de moindre résistance (ligne rouge) doit être plus grand ou égal à 1 mètre.

4.2 Condition 2: Satisfaire à $\Psi_e \leq \Psi_{e,lim}$

4.2.1 Généralités

Lorsqu'à l'aide d'un calcul numérique validé, il peut être démontré que la valeur Ψ_e d'un nœud constructif est plus petite ou égale à la valeur correspondante $\Psi_{e,lim}$, alors le nœud constructif est PEB-conforme. Les valeurs limites pour le coefficient de transmission linéique $\Psi_{e,lim}$ sont définies par type de nœud constructif (Tableau 1).

Tableau 1 Valeurs limites des coefficients de conductivité linéiques Ψ_e

	$\Psi_{e,lim}$
1. ANGLE SORTANT (1)(2) • 2 murs • Autres angles sortans	 -0.10 W/m.K 0.00 W/m.K
2. ANGLE RENTRANT (3)	0.15 W/m.K
3. RACCORDS aux FENÊTRES et aux PORTES	0.10 W/m.K
4. APPUI DE FONDATION	0.05 W/m.K
5. BALCONS - AUVENTS	0.10 W/m.K
6. RACCORDS DE PAROIS D'UN MÊME VOLUME PROTÉGÉ OU ENTRE 2 VOLUMES PROTÉGÉS DIFFÉRENTS AVEC UNE PAROI DE LA SURFACE DE DÉPERDITION	0.05 W/m.K
7. TOUS LES NŒUDS QUI N'ENTRENT PAS DANS LES CATÉGORIES 1 à 6	0.0 W/m.K

(1) A l'exception d'appui de fondation
(2) Pour un "angle sortant", l'angle α -mesuré entre les deux faces extérieures de la paroi de la surface de déperdition- doit satisfaire à : 180° < α < 360°.
(3) Pour un "angle rentrant", l'angle α -mesuré entre les deux faces extérieures de la paroi de la surface de déperdition- doit satisfaire à : 0° < α < 180°.

Cela peut être démontré de plusieurs manières tant que le calcul a été effectué à l'aide d'un *calcul numérique validé* :

- Calcul personnel
- Calcul fourni par un fabricant
- Valeur Ψ_e extraite d'une base de données

- ...

Extraire une valeur Ψ_e d'une base de données ou d'une autre source est seulement autorisé à condition que le détail personnel corresponde entièrement au détail pour lequel la valeur Ψ_e a été calculée. Cela signifie qu'aussi bien la géométrie que les valeurs lambda utilisées du détail propre doivent être identiques à celles du détail dont on a utilisé la valeur Ψ_e. Si ce n'est pas le cas, alors un nouveau calcul (suivant un calcul numérique validé) est toujours nécessaire.

Il est à remarquer qu'aucune valeur limite n'est définie pour les nœuds constructifs ponctuels.

Base de données KOUDEBRUG-IDEE

Dans le cadre du projet TETRA 'Koudebrug-IDEE', pour une série de nœuds constructifs, un certain nombre de solutions génériques à faible pont thermique sont développées. Ces nœuds constructifs sont accessibles sur :
www.wtcb.be/go/koudebruggen
www.cstc.be/go/ponts-thermiques

Les nœuds constructifs de la banque de données KOUDEBRUG-IDEE sont - pour autant qu'ils aient une géométrie orthogonale – également disponibles dans le format KOBRA, sous lequel ils peuvent être chargés et, si nécessaire, adaptés à l'aide du programme gratuit validé KOBRA. Ce programme est disponible sur :
www.wtcb.be/go/KOBRA
www.ctsc.be/go/KOBRA

4.2.2 Situations spéciales

4.2.2.1 Noeuds constructifs linéaires entre 2 volumes protégés ou plus

Pour tenir compte, à l'aide de calculs numériques validés, d'un nœud constructif linéaire qui se situe à la limite de deux (ou plus que deux) volumes protégés, nœud qui n'est pas PEB-conforme, il faut regarder chaque part propre $\Psi_{e,i}$ du total de la valeur Ψ_e. Cette part propre $\Psi_{e,i}$ doit être plus petite ou égale au $\Psi_{e,lim}$, partagé par le nombre de volumes protégés *i* dans lesquels le nœud de construction linéaire est impliqué.

La Figure 4.20 4.20 donne un exemple de noeud constructif qui se trouve entre 2 volumes protégés.

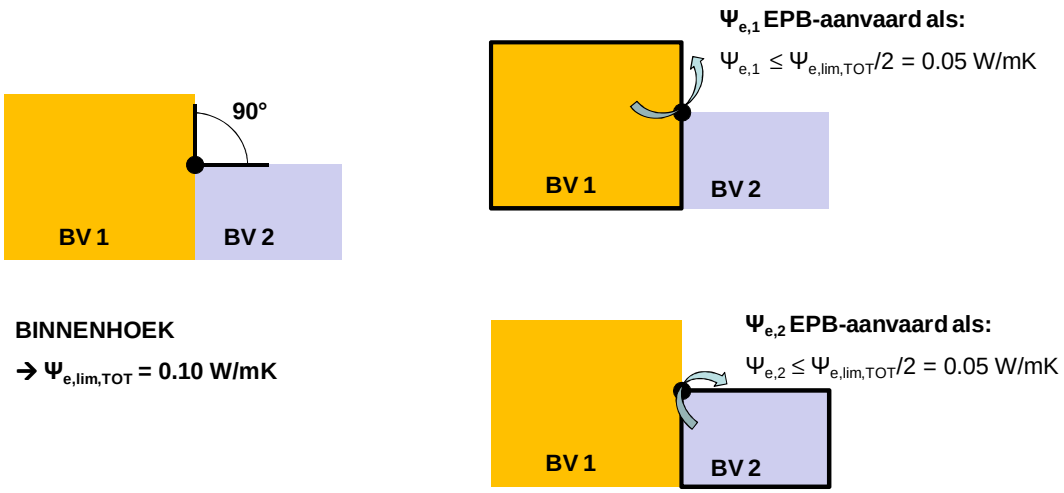
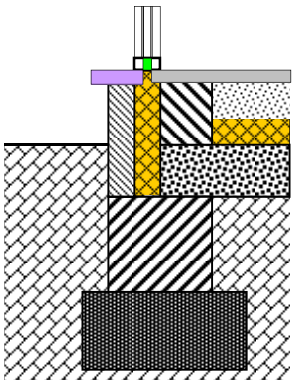


Figure 4.20 Exemple de nœud constructif linéaire entre 2 volumes protégés, pour lequel chaque volume protégé doit être vérifié pour sa part.

Selon le Tableau 1, le nœud constructif de la figure 4.20 doit être catalogué comme un angle rentrant (l'angle entre les faces extérieures est égal à 90°), ce qui signifie que la valeur limite $\Psi_{e,lim,TOT}$ pour tout le nœud constructif est égale à 0.10 W/mK. Lorsqu'on effectue le calcul numérique pour le nœud constructif dans son ensemble, il y a une part dans les déperditions du volume protégé 1 ($\Psi_{e,1}$) et une autre dans le volume protégé 2 ($\Psi_{e,2}$). Il est bien entendu que $\Psi_{e,1} + \Psi_{e,2} = \Psi_{e,TOT}$.
Au regard du volume protégé 1, seul $\Psi_{e,1}$ est considéré et doit satisfaire $\Psi_{e,1} \leq \Psi_{e,lim,TOT}/2$ =0.05 W/mK pour que ce nœud constructif soit considéré comme `PEB-conforme'. Il en va de même pour le volume protégé 2 : seul $\Psi_{e,2}$ est considéré et doit satisfaire $\Psi_{e,2} \leq \Psi_{e,lim,TOT}/2$ =0.05 W/mK.

4.2.2.2 Combinaisons de nœuds constructifs linéaires difficiles à distinguer

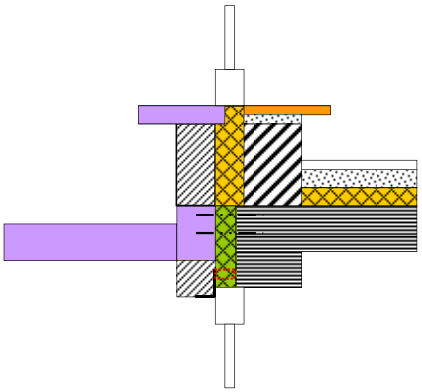
Dans certaines situations, les nœuds de construction linéaires sont si proches les uns des autres qu'il n'est physiquement pas possible de les séparer et pour chacun d'eux déterminer une valeur Ψ_e et de la vérifier par rapport à la valeur limite. Par exemple pour des appuis de fondation en combinaison avec des seuils de fenêtres ou de porte ou des encastrements de balcons en combinaison avec les raccordements de fenêtre au dessus et/ou en dessous du balcon (Figure 4.21). Pour ces cas, il est permis de considérer la combinaison comme un nœud constructif 'combiné' constitué des différents nœuds de construction.



'Gecombineerde bouwknoop' bestaande uit deelbouwknopen:

- Funderingsaanzet: $\Psi_{e,lim}$ = 0.05 W/mK
- Deurdorpel: $\Psi_{e,lim}$ = 0.10 W/mK

➔ **$\Psi_{e,lim,TOT}$ = 0.05 + 0.10 = 0.15 W/mK**



'Gecombineerde bouwknoop' bestaande uit deelbouwknopen:

- Balkon: $\Psi_{e,lim}$ = 0.10 W/mK
- Deurdorpel: $\Psi_{e,lim}$ = 0.10 W/mK
- Deurlatei: $\Psi_{e,lim}$ = 0.10 W/mK

➔ **$\Psi_{e,lim,TOT}$ = 0.10 + 0.10 + 0.10 = 0.30 W/mK**

Figure 4.21 Exemples de nœuds constructifs 'combinés'

Pour vérifier à l'aide d'un calcul numérique validé si un tel nœud constructif 'combiné' est PEB-conforme, il est nécessaire de prendre en compte le nœud constructif 'combiné' dans son ensemble et de vérifier la valeur Ψ_e totale calculée par rapport à la somme des valeurs $\Psi_{e,lim}$ des différentes typologies qui s'y distinguent.

Remarque
Les nœuds constructifs ponctuels ne peuvent jamais faire partie d'un nœud 'combiné'.
Ainsi par exemple les points de fixations de supports de maçonnerie à l'emplacement d'un raccord de linteau de fenêtre ne sont pas à reprendre dans la valeur Ψ_e du raccord de linteau de fenêtre. La valeur Ψ_e du raccord de linteau doit être calculée sans les supports ponctuels et est vérifée par rapport à la valeur $\Psi_{e,lim}$. L'influence des supports ponctuels est prise en compte complémentairement par la valeur χ_e et le nombre de fixations.

5 VALEURS PAR DÉFAUT

Si la détermination d'une valeur Ψ_e- of χ_e- pour un nœud constructif déterminé devient trop complexe et/ou qu'il ne vaut pas la peine de réaliser un calcul numérique étant donné que la longueur du nœud constructif ou que leur nombre est réduit, il est possible de revenir aux 'valeurs par défaut'.

Il faut retenir que les valeurs par défaut sont fortement défavorables. L'application systématique des valeurs par défaut sur un bâtiment entier aboutira dans la plupart des cas à une pénalité plutôt lourde (probablement plus de 10 points K). Les valeurs par défaut sont aussi uniquement destinées comme expédient facile pour les nœuds constructifs (au mieux pour des longueurs/nombres déterminés) pour lesquels les coefficients de transmission thermique linéiques et ponctuels Ψ_e et χ_e ne peuvent pas facilement être obtenus.

5.1 Valeurs par défaut pour les noeuds constructifs linéaires

5.1.1 Généralités

Une valeur par défaut pour un nœud constructif linéaire (Tableau 2) est exprimée en fonction de la valeur correspondante $\Psi_{e,lim}$ du Tableau 1. Complémentairement, cela distingue des types de solution de nœuds constructifs.

Tableau 2 Valeurs par défaut pour les nœuds constructifs

Nœuds constructifs sans coupure thermique avec liaisons structurelles linéaires en acier ou en béton armé. *EXEMPLES* - *Linteaux qui traversent jusqu'à la face extérieure,* - *Balcons traversants,* - *Supports métalliques de maçonnerie qui touchent la face intérieure sur toute sa longueur.* - *…*	0.90 + $\Psi_{e,lim}$ W/m.K
Nœuds constructifs avec coupure thermique avec liaisons structurelles ponctuelles en métal *EXEMPLES* - *Balcons suspendus avec système préfabriqué d'ancrage enrobé d'isolant,* - *…*	0.40 + $\Psi_{e,lim}$ W/m.K
Autres	0.15 + $\Psi_{e,lim}$ W/m.K

5.1.2 Situations spéciales

5.1.2.1 Noeuds constructifs linéaires entre 2 volumes protégés ou plus

La méthode pour déterminer la valeur par défaut d'un nœud de construction linéaire qui se situe à la limite de 2 volumes protégés ou plus est analogue à celle pour déterminer le critère $\Psi_{e,lim}$ (voir § 4.2.2.1). Dans une première étape une valeur est déterminée par défaut pour le nœud de construction entier selon le Tableau 2. Ce $\Psi_{e,wbo,TOT}$, est ensuite partagé forfaitairement entre les différents volumes protégés.

La Figure 5.1 5.1 reprend un exemple de nœud constructif linéaire entre deux volumes protégés.

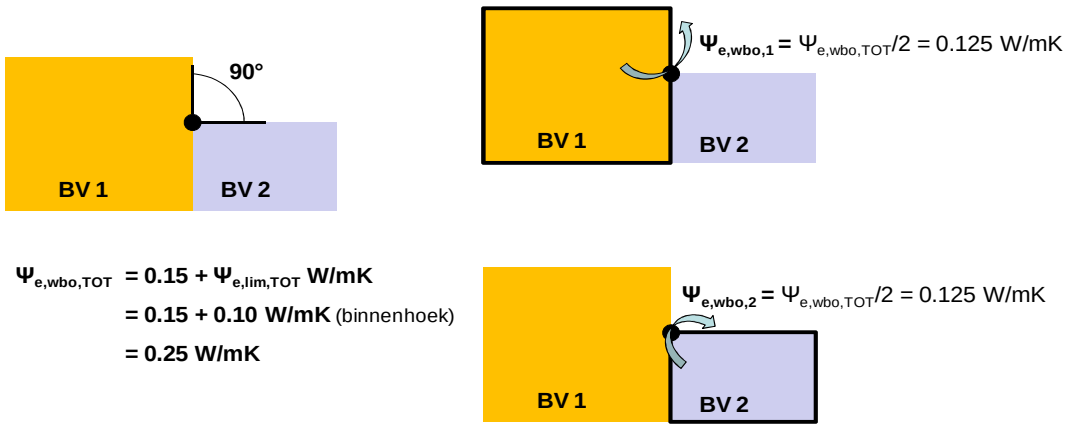


Figure 5.1 Exemple de nœud constructif linéaire entre 2 volumes protégés s

En prenant l'hypothèse que le noeud de construction de la figure 5.1 relève de la catégorie 'autre' du Tableau 2, la valeur totale par défaut pour le nœud de construction entier est égale, selon le tableau 2, à

$$\Psi_{e,wbo,TOT} = 0.15 + \Psi_{e,lim,TOT} = 0.15 + 0.10 = 0.25 \left[\frac{W}{m.K}\right]$$

avec $\Psi_{e,lim}$ = 0.10 W/mK suivant le Tableau 1 car le nœud constructif de la Figure 5.1 5.1 est un angle rentrant (angle entre surfaces extérieures égal à 90°).
Cette valeur totale par défaut est forfaitairement répartie sur les 2 volumes protégés, avec pour chaque volume la moitié de la valeur par défaut totale :

- Volume protégé 1: $\Psi_{e,wbo,1} = \Psi_{e,wbo,TOT} / 2 = 0.125$ W/mK
- Volume protégé 2: $\Psi_{e,wbo,2} = \Psi_{e,wbo,TOT} / 2 = 0.125$ W/mK

5.1.2.2 Combinaisons de nœuds constructifs linéaires difficiles à distinguer

Il est possible qu'il soit difficile de connaître une valeur totale par défaut d'une combinaison des nœuds de construction linéaires. Cette valeur totale sera, par défaut, égale à la somme des valeurs par défaut des typologies distinctes qui sont concernées.

5.2 Valeurs par défaut pour les nœuds constructifs ponctuels

Une valeur par défaut pour un nœud constructif ponctuel dépend du type de percement.

Tableau 3 5.2 Valeurs par défaut pour les nœuds constructifs ponctuels

Coupures de la couche isolante par des éléments en métal (z = longueur du côté du carré dans lequel s'inscrit le percement, en m) *EXEMPLE* - *Profil I en acier qui traverse la couche isolante d'une façade ;* - *Points de suspension pour supports de maçonnerie ;* - *…*	4.7*z + 0.03 W/K
Coupures de la couche isolante par d'autres matériaux que le métal (A = surface du percement, en m^2) *EXEMPLE* - *Colonne béton qui traverse la couche isolante d'un plancher ;* - *…*	3.8*A + 0.10 W/K