

Calculs numériques validés

Table des matières

1	INTRODUCTION	2
2	DOMAINE D'APPLICATION	2
3	NORMES DE RÉFÉRENCE	2
4	SYMBOLES UTILISÉS	3
5	LOGICIELS DE CALCUL VALIDÉS	3
6	CONDITIONS À APPLIQUER AU MODÈLE NUMÉRIQUE	4
6.1	Exigences géométriques.....	4
6.1.1	<i>Dimensions</i>	4
6.1.2	<i>Simplifications autorisées au modèle géométrique</i>	7
6.1.3	<i>Interruptions linéaires et ponctuelles propres à la paroi et distribuées sur toute la surface de celle-ci</i>	8
6.1.4	<i>Nœud constructif ponctuel situé sur un nœud constructif linéaire</i>	9
6.1.5	<i>Exigences pour la grille</i>	10
6.2	Données introduites.....	10
6.2.1	<i>Conductivité thermique</i>	10
6.2.2	<i>Résistances thermiques d'échange superficielles</i>	11
6.2.3	<i>Températures des environnements</i>	11
7	CALCUL DES VALEURS Ψ ET X	11
7.1	Généralités.....	11
7.2	Plus de 2 températures d'environnement (EANC, cave non chauffée ou vide sanitaire).....	12
7.3	Appui de fondation d'un plancher sur sol.....	14
7.4	Raccords aux fenêtres et portes.....	17
7.4.1	<i>Méthode de calcul détaillée</i>	17
7.4.2	<i>Méthode de calcul simplifiée</i>	18
7.5	Nœuds constructifs dans le cas de parois en ossature bois ou en ossature métallique.....	19
8	EXIGENCES POUR LE RAPPORT	20
8.1	Données à introduire.....	20
8.2	Données à extraire.....	20

1 Introduction

Dans l'annexe NC, l'influence des nœuds constructifs sur le coefficient de transfert thermique par transmission, est évaluée. Dans cette annexe, il est permis de choisir parmi trois méthodes : une méthode détaillée ("option A"), une méthode dite des *nœuds PEB conformes* ("option B") ou une méthode dans laquelle on opte pour un supplément forfaitaire ("option C").

Le présent document traite du calcul exact de l'influence des nœuds constructifs sur le flux thermique total. Ce calcul est requis lorsqu'on choisit d'appliquer la *méthode détaillée* ("option A") de l'annexe NC ou lorsque, lors de l'application de la *méthode des nœuds PEB-conformes* ("option B"), on retrouve des nœuds constructifs qui doivent être introduits individuellement (qui ne sont donc pas PEB-conformes). L'évaluation de l'influence des nœuds constructifs linéaires et ponctuels peut alors être, dans ces cas-là, réalisée à l'aide d'un programme de calcul numérique. Le présent document décrit comment il faut utiliser un calcul numérique de ce type.

2 Domaine d'application

Les méthodes de calcul auxquelles il est fait mention dans ce texte peuvent être appliquées pour la détermination des coefficients de transmission thermique linéaires et ponctuels (valeurs Ψ et χ). Ces coefficients de transmission thermique linéaires et ponctuels sont entre-autres déterminés aux endroits suivantes :

- nœuds constructifs linéaires et ponctuels (acrotère, appui de fondation,...)
- interruptions linéaires et ponctuelles qui sont propres à la paroi (montants et traverses en bois, crochets de maçonnerie,...)

Ces méthodes ne sont pas d'application pour le calcul des coefficients de transmission thermique des châssis de fenêtres et de portes, écarteurs de vitrage,...

3 Normes de référence

Le présent texte fait référence aux normes suivantes. Seule la version de norme portant la date mentionnée est d'application, à moins que le Ministre ne signale explicitement son remplacement par une autre version.

NBN EN ISO 10211	Ponts thermiques dans les bâtiments - Flux thermiques et températures superficielles - Calculs détaillés
NBN EN ISO 10077-2	Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Calcul du coefficient de transmission thermique - Partie 2 : Méthode numérique pour les encadrements

4 Symboles utilisés

Symbole	Signification	Unités
b	Dimension du sol dans une direction déterminée	m
B'	Dimension caractéristique du sol	m
EANC	Espace adjacent non chauffé	-
R _{si}	Résistance thermique d'échange d'une surface intérieure	m ² .K/W
R _{se}	Résistance thermique d'échange d'une surface extérieure	m ² .K/W
U	Coefficient de transmission thermique	W/(m ² .K)
ΔU	Correction du coefficient de transmission thermique	W/(m ² .K)
λ	Conductivité thermique d'un matériau de construction	W/(m.K)
Ψ	Coefficient de transmission thermique linéaire	W/(m.K)
Φ	Flux thermique	W
χ	Coefficient de transmission thermique ponctuel	W/K

5 Logiciels de calcul validés

Programmes de calcul numérique qui, utilisés dans le cadre de la réglementation PEB, doivent satisfaire à toutes les exigences qui sont indiquées dans l'annexe C de la NBN EN ISO 10211 pour une "méthode de haute précision" .

6 Conditions à appliquer au modèle numérique

Ce paragraphe spécifie les conditions auxquelles doit satisfaire un calcul numérique.

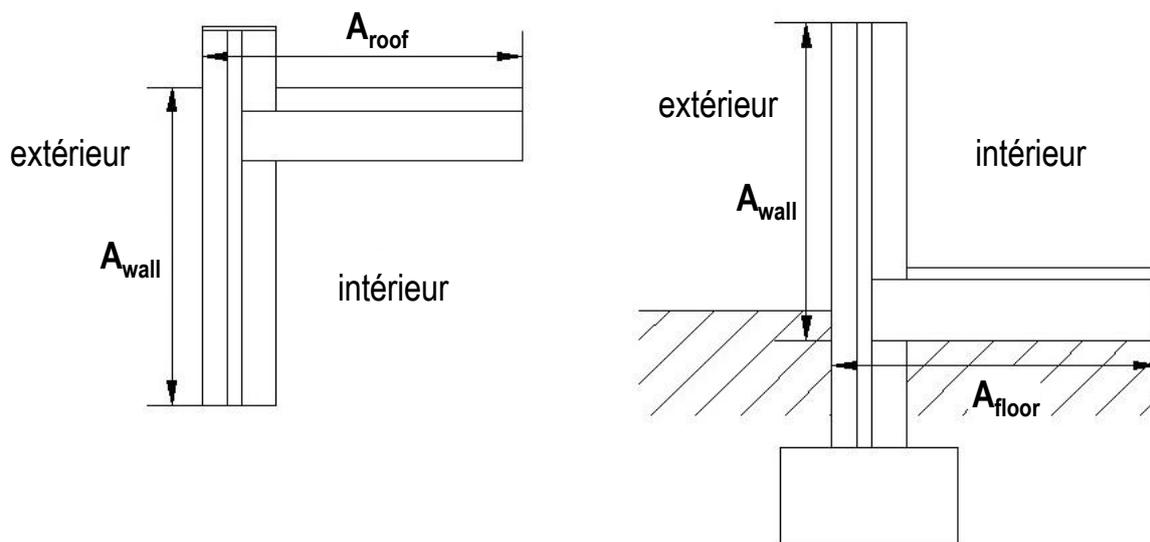
6.1 Exigences géométriques

6.1.1 Dimensions

6.1.1.1 Généralités

Les longueurs et les surfaces doivent être calculées à partir des dimensions extérieures (Figure [1]).

Figure [1] : Exemple de dimensions extérieures aux raccords d'un toit plat avec une façade (à gauche) et d'un plancher sur sol avec une façade à l'appui sur une fondation (à droite).



Annexe 1 - Spécifications du calcul exact de l'influence des nœuds constructifs linéaires et ponctuels sur le flux thermique total

Le modèle géométrique bi- ou tridimensionnel d'un nœud constructif doit comprendre les éléments de construction qui le bordent sur une largeur égale ou supérieure à d_{\min} , où d_{\min} est donné par (voir Figure [2], ❶ ou ❷).

Eq. 1 $d_{\min} = \max(1; 3.d)$ m

où :

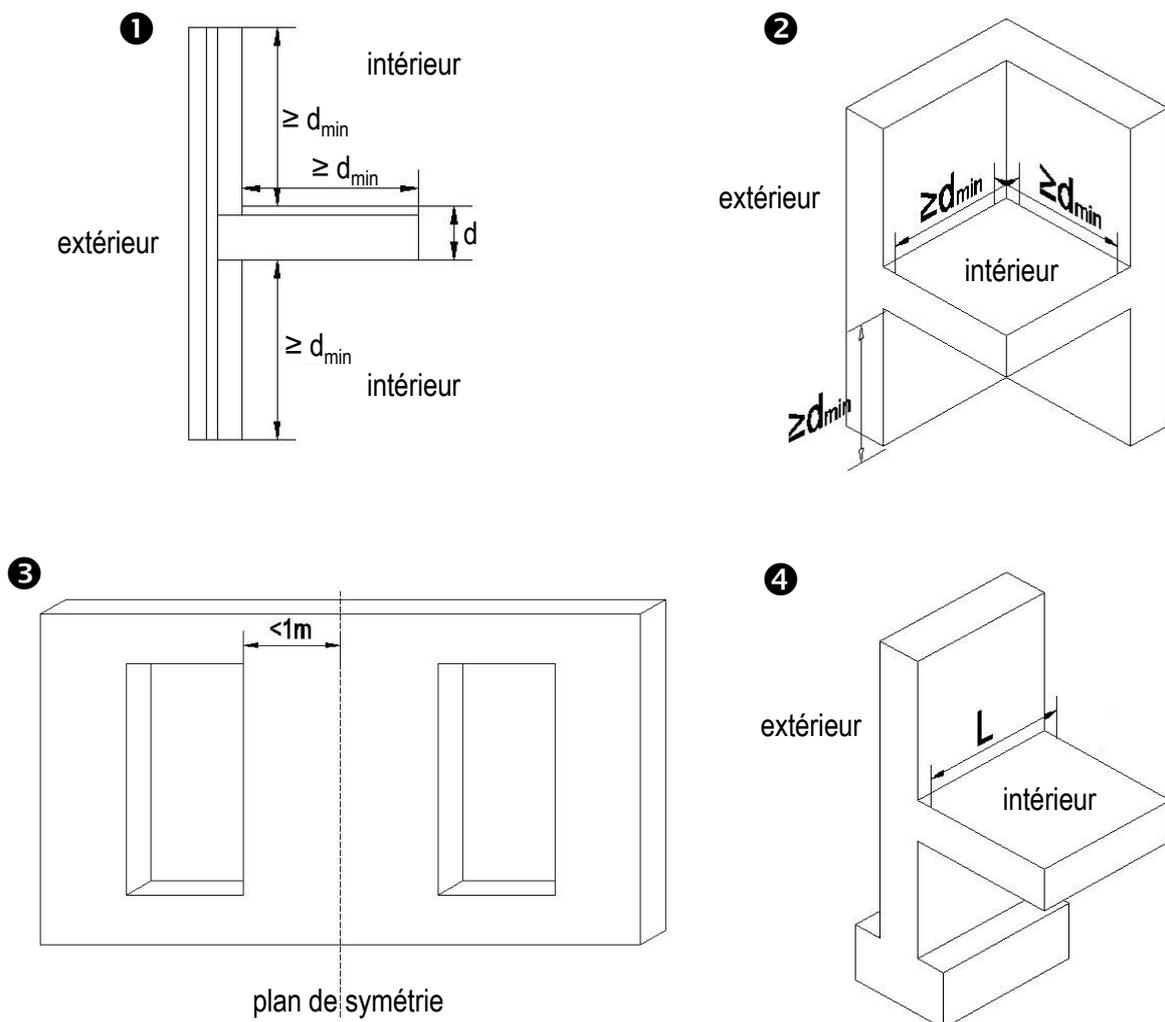
d la largeur de l'élément de construction concerné, en m.

Si dans cette largeur de 1 mètre se trouve un plan de symétrie, l'élément de construction concerné doit être coupé à l'endroit du plan de symétrie (Figure [2], ❸).

Dans le cas d'un nœud constructif linéaire, la longueur L dans la troisième dimension peut être choisie librement (Figure [2], ❹).

Des conditions adiabatiques sont toujours obligatoires sur les bords du modèle.

Figure [2] : Position des plans de coupe d'un modèle géométrique



6.1.1.2 Nœuds constructifs avec un massif de sol

Dans le cas d'un appui de fondation d'un plancher sur sol ou d'un plancher situé au-dessus d'un vide sanitaire ou d'une cave non chauffée, il ne se produit pas seulement un flux thermique à travers le plancher, mais aussi à travers le massif de sol (via ou non un vide sanitaire ou une cave non chauffée). Cela signifie que le massif de sol doit aussi être pris en compte dans le modèle numérique.

Horizontalement, à l'intérieur du bâtiment, le massif de sol et le plancher sont modélisés sur une distance de $0,5.b$, où b est la largeur du bâtiment prise perpendiculairement à la fondation, en m (Figure [3]).

Horizontalement, à l'extérieur du bâtiment, et verticalement, sous le niveau du plancher, le massif de sol est modélisé sur une distance de $2,5.b$.

Dans le cas d'un bâtiment non orthogonal, b doit être remplacé par la dimension caractéristique du sol B' , donnée par :

$$\text{Eq. 2} \quad B' = 2.A/P \quad \text{m}$$

avec :

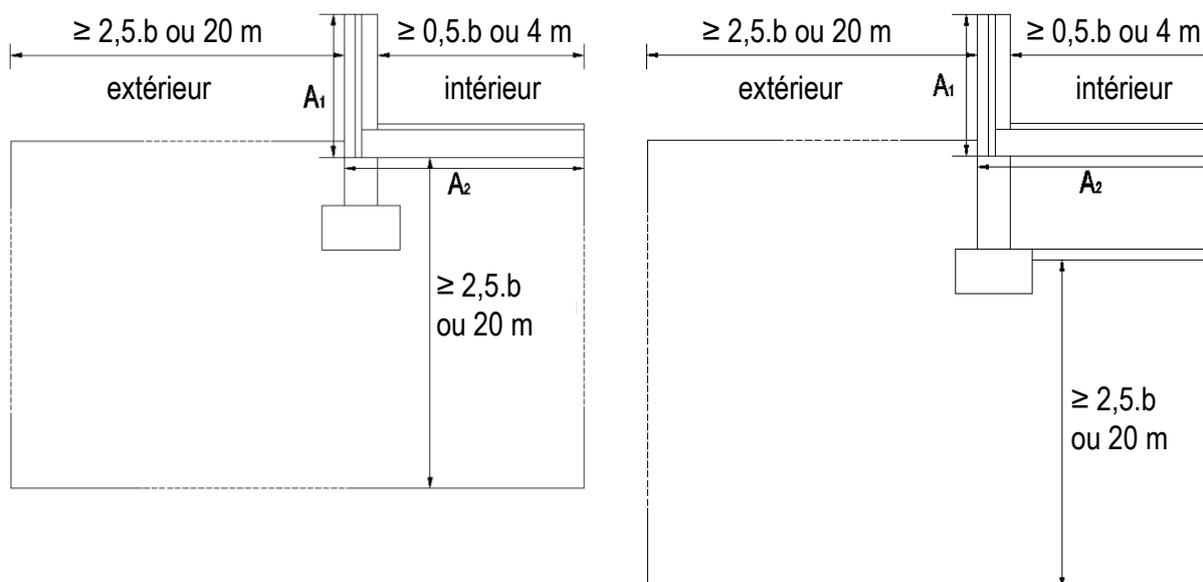
A la surface totale du plancher, mesurée à partir des dimensions extérieures, en m^2 ;

P le périmètre du plancher, déterminé selon l'annexe F de l'annexe DRT.

Pour réduire le temps de calcul, ces dimensions peuvent être limitées à 4 mètres du côté intérieur du bâtiment et 20 mètres sous le bâtiment et autour de celui-ci. Il est toujours permis de calculer avec ces dimensions maximales.

A l'endroit des plans de coupe du modèle des conditions de bord adiabatiques doivent toujours être appliquées.

Figure [3] : Position des plans de coupe d'un modèle géométrique dans lequel un massif de sol est concerné
à gauche : plancher sur sol - à droite : plancher sur cave



6.1.2 Simplifications autorisées au modèle géométrique

Des résultats de calcul obtenus à l'aide d'un modèle géométrique sans simplification auront toujours la priorité sur des résultats obtenus à l'aide d'un modèle géométrique avec simplification.

Des simplifications sont seulement permises lorsqu'elles satisfont aux prescriptions de la norme ISO 10211.

Les principales simplifications permises sont commentées ci-dessous.

- Les couches non métalliques d'une épaisseur inférieure à 1 mm peuvent être négligées. Les couches métalliques fines ne peuvent être négligées que s'il peut être prouvé qu'elles ont une influence négligeable sur le flux thermique.

EXEMPLES : feuilles de matériau, écrans d'étanchéité à la vapeur, à l'eau et à l'air,...

- Les éléments de construction qui sont fixes à l'extérieur de la surface de déperdition et qui ne traversent pas la couche isolante, peuvent être négligés.

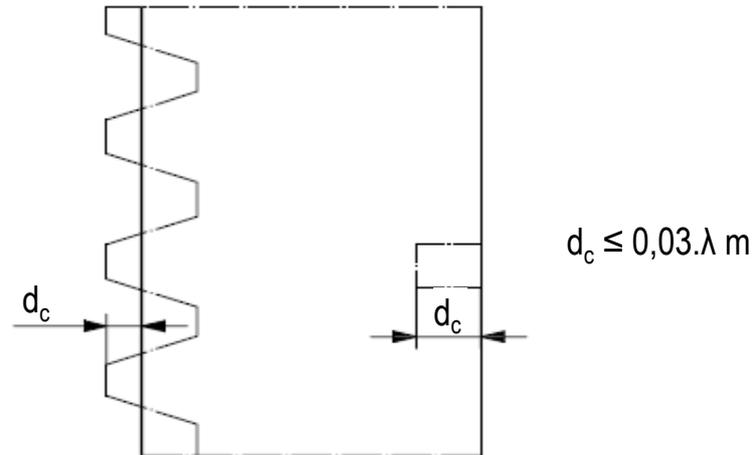
EXEMPLES : évacuation d'eau pluviale, gouttière,...

- L'aplanissement de surfaces profilées ou de variations locales d'épaisseur sur la face intérieure ou extérieure d'un élément de construction est permis :

- lorsque le matériau de la face intérieure ou extérieure a une conductivité thermique λ inférieure à 3 W/(m.K), **ET**
- lorsque la distance maximale d_c entre la surface réelle et la surface simplifiée est inférieure ou égale à $0,03.\lambda$ m, mesurée perpendiculairement à la surface du matériau (voir Figure [4]).

EXEMPLES : coins arrondis, surfaces profilées (plaques profilées, béton architectonique profilé,...)

Figure [4] : Aplatissement des surfaces profilées (à gauche) ou une variation locale d'épaisseur (à droite) de la surface intérieure ou extérieure (figure extraite de la NBN EN ISO 10211) .



- Les couches de matériaux qui se trouvent du côté extérieur par rapport à une couche d'air fortement ventilée, peuvent être négligées dans le modèle géométrique. Dans ce cas, on utilise, à l'endroit de la couche d'air fortement ventilée, une résistance thermique d'échange superficielle pour des conditions intérieures, R_{si} . La détermination finale des valeurs Ψ et χ (voir § 7) à l'aide du flux thermique calculé numériquement doit encore toujours se faire à partir des dimensions extérieures, en incluant les couches de matériaux qui ne doivent pas être modélisés !

EXEMPLES : coulisse fortement ventilée entre une maçonnerie portante et un parement, vide d'air entre une couverture en tuiles ou en ardoises et une sous-toiture,...

6.1.3 Interruptions linéaires et ponctuelles propres à la paroi et distribuées sur toute la surface de celle-ci

6.1.3.1 Interruptions linéaires propres à une paroi et distribuées sur toute la surface de celle-ci

EXEMPLES : couches de construction non homogènes comme par exemple des montants et traverses en bois des parois en ossature bois, chevrons et vernes des toits à chevrons, montants en bois de l'isolation intérieure ou extérieure, connexion linéaire mutuelle des panneaux sandwich, systèmes de suspension linéaires des bardages/façades légères, ...

Les interruptions linéaires propres à la paroi et distribuées sur toute la surface de celle-ci ne peuvent pas être modélisées d'une manière simplifiée. Cela signifie que tou(te)s les traverses, chevrons, poutres de ceinture, couches métalliques, systèmes de suspension linéaire,... qui sont situés dans les dimensions du modèle doivent obligatoirement être repris dans le modèle du nœud constructif.

Seules les interruptions linéaires dues au maçonnerie ou au collage de blocs peuvent être modélisées de manière simplifiée en considérant la couche de construction comme une couche de matériau thermiquement homogène

Annexe 1 - Spécifications du calcul exact de l'influence des nœuds constructifs linéaires et ponctuels sur le flux thermique total

d'épaisseur égale caractérisée par un coefficient de conductivité thermique équivalent λ_0 calculée selon le § G.3.1 de l'annexe DRT.

6.1.3.2 Interruptions ponctuelles propres à une paroi et distribuées sur toute la surface de celle-ci

EXEMPLES : crochets de maçonnerie, systèmes de suspension ponctuels des bardages/façades légères (par ex. : crochets ponctuels pour suspendre le système d'isolation de la façade extérieure, des vis de réglage à distances fixes pour des montants en bois), des points de fixations des panneaux sandwich à la structure portante,...

En principe, les interruptions ponctuelles propres à une paroi et distribuées sur toute la surface de celle-ci ont un impact très limité sur la valeur finale Ψ ou χ d'un nœud constructif linéaire ou ponctuel. Elles ne devraient donc pas être modélisées ou calculées d'une manière simplifiée dans le modèle numérique du nœud constructif linéaire ou ponctuel. Cela n'implique nullement que l'influence de ces interruptions ponctuelles de l'enveloppe ne devrait pas être prise en compte dans le calcul de la valeur U de la paroi. Les règles de l'annexe DRT restent d'application. Ce n'est que lors de la détermination de la valeur Ψ d'un nœud constructif linéaire qu'il n'est pas nécessaire de prendre en compte ces éléments de ruptures et de les modéliser.

6.1.4 Nœud constructif ponctuel situé sur un nœud constructif linéaire

EXEMPLES : crochets ponctuels des supports de maçonnerie à hauteur de la connexion d'un linteau, support ponctuel des seuils en cas d'un système d'isolation extérieure, ...

Deux options sont possibles, complétées par une exception.

6.1.4.1 Valeur χ de nœud(s) constructif(s) ponctuel(s) connue

Si l'influence de ces nœuds constructifs ponctuels est connue et est incluse séparément dans le calcul via leur valeur χ (soit à l'aide d'un calcul numérique validé, soit via une valeur par défaut), alors ces nœuds constructifs ponctuels peuvent être négligés dans le modèle numérique du nœud constructif linéaire.

6.1.4.2 Valeur χ de nœud(s) constructif(s) ponctuel(s) inconnue

Si leur influence n'est pas incluse dans le calcul via une valeur χ (par exemple, si le nœud constructif ponctuel est trop imbriqué dans le nœud constructif linéaire ce qui rend une modélisation numérique à part du nœud constructif ponctuel impossible ou peu judicieuse), alors la procédure suivante doit être appliquée :

1. Détermination de la valeur Ψ_e du nœud constructif linéaire, en $W/(m.K)$, sur base du modèle numérique 2D sans le nœud constructif ponctuel. C'est cette valeur Ψ_e qui, le cas échéant, doit être comparée à la valeur Ψ_{lim} .
2. Détermination du flux total de chaleur $Q_{3D,TOT}$, en W , sur base du modèle 3D complet du nœud constructif linéaire et du nœud constructif ponctuel pris ensemble. Dans la direction parallèle au nœud constructif linéaire,

Annexe 1 - Spécifications du calcul exact de l'influence des nœuds constructifs linéaires et ponctuels sur le flux thermique total

la longueur du modèle doit être égale à 1/n mètres, avec n le nombre de nœud constructif par mètre courant.

3. Détermination de la valeur χ du nœud constructif ponctuel, en W/K, de la manière suivante :

$$\text{Eq. 3} \quad \chi = \frac{Q_{3D,TOT}}{\Delta T} - \frac{\psi_e}{n} \quad \text{W/K}$$

avec :

n le nombre de nœud constructif par mètre courant ;

ΔT la différence de température entre les ambiances intérieure et extérieure.

6.1.4.3 Exception

Les fixations mécaniques (comme les pattes de fixation pour châssis, ou les vis) ayant une section totale inférieure à 1 cm² par mètre courant, reçoivent une valeur χ de 0 W/(m.K) et peuvent être négligées lors de la modélisation du nœud constructif linéaire.

6.1.5 Exigences pour la grille

Le logiciel de simulation des détails de raccords fait généralement usage d'une grille : la température est calculée aux intersections des lignes de la grille. Pour qu'une simulation soit suffisamment précise, il faut qu'une grille minimale soit respectée : si on double le nombre de subdivisions, le flux thermique ne peut pas varier de plus de 1 %.

6.2 Données introduites

6.2.1 Conductivité thermique

La conductivité thermique des matériaux doit être déterminée conformément aux règles de l'annexe DRT.

Une couche d'air peut toujours être considérée comme un matériau conducteur homogène avec une conductivité thermique équivalent λ_g :

$$\text{Eq. 4} \quad \lambda_g = \frac{d_g}{R_g} \quad \text{W/(m.K)}$$

avec :

d_g l'épaisseur de la couche d'air, en m ;

R_g la résistance thermique de la couche d'air telle que déterminée dans l'annexe DRT, en m².K/W.

La conductivité thermique d'une couche non homogène peut être déterminée suivant le § **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** s'il est satisfait aux conditions qui sont d'application.

La conductivité thermique du sol doit être considérée égale à 2 W/(m.K).

6.2.2 Résistances thermiques d'échange superficielles

Les résistances thermiques d'échange superficielles doivent être déterminées conformément aux règles de l'annexe DRT. Si la direction du flux thermique est incertaine ou si le bâtiment dans son ensemble est modélisé dans un même calcul, il est permis d'effectuer le calcul avec la résistance thermique d'échange d'une surface intérieure (R_{si}) relative à un flux thermique horizontal.

Dans le cas des parois qui séparent le volume protégé des vides sanitaires, des caves non chauffées ou des espaces adjacents non chauffés, la résistance thermique d'échange d'une surface intérieure (R_{si}) doit être appliquée des deux côtés.

6.2.3 Températures des environnements

Les températures des environnements intérieur et extérieur peuvent être choisies librement. La température dans un espace adjacent non chauffé, une cave non chauffée ou un vide sanitaire doit être supposée comme égale à la température extérieure (voir aussi § 7.2).

7 Calcul des valeurs Ψ et χ

7.1 Généralités

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

Etant donné que, le calcul de référence est basé sur les dimensions extérieures ('exterior'), par soucis d'univocité, un suffixe est joint au symbole : Ψ_e en χ_e .

Le **coefficient de transmission thermique linéaire Ψ_e** est défini de la manière suivante :

$$\text{Eq. 5} \quad \Psi_e = \frac{\Phi_{2D} - \Phi_{1D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} \quad \text{W/(m.K)}$$

avec :

Φ_{2D} le flux thermique stationnaire bidimensionnel entre les environnements intérieur et extérieur calculé à l'aide d'un logiciel de simulation numérique, en W ;

Φ_{1D} la somme des flux thermiques stationnaires à travers les parois qui composent le modèle, en W, calculée de la manière suivante :

$$\text{Eq. 6} \quad \Phi_{1D} = \sum U_i \cdot A_i \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad \text{W}$$

où :

U_i la valeur U de la paroi i, en W/(m².K) ;

A_i la surface de la paroi i du modèle, mesurée à partir des dimensions extérieures, en m²

Annexe 1 - Spécifications du calcul exact de l'influence des nœuds constructifs linéaires et ponctuels sur le flux thermique total

L la longueur du nœud constructif modélisé, en m ;
($\theta_i - \theta_e$) la différence de température entre les environnements intérieur et extérieur, en K.

Le **coefficient de transmission thermique ponctuel** χ_e est déterminé d'une manière analogue :

$$\text{Eq. 7} \quad \chi_e = \frac{\Phi_{3D} - \Phi_{2D}}{\theta_i - \theta_e} \quad \text{W/K}$$

avec :

Φ_{3D} le flux thermique stationnaire tridimensionnel entre les environnements intérieur et extérieur, calculé à l'aide d'un logiciel de simulation numérique, en W ;

Φ_{2D} la somme des flux thermiques stationnaires à travers les parois qui composent le modèle et les éventuels nœuds constructifs linéaires provoqués par le raccordement des parois, en W, calculée de la manière suivante :

$$\text{Eq. 8} \quad \Phi_{2D} = \sum_i U_i \cdot A_i \cdot (\theta_i - \theta_e) + \sum_k \Psi_{e,k} \cdot L_k \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad \text{W}$$

où :

U_i la valeur U de la paroi i, en W/(m².K) ;

A_i la surface de la paroi i du modèle, mesurée à partir des dimensions extérieures, en m² ;

$\Psi_{e,k}$ le coefficient de transmission thermique linéaire du nœud constructif linéaire k, en W/(m.K) ;

L_k la longueur du nœud constructif linéaire k, en m ;

($\theta_i - \theta_e$) la différence de température entre les environnements intérieur et extérieur, en K.

7.2 Plus de 2 températures d'environnement (EANC, cave non chauffée ou vide sanitaire)

Certains nœuds constructifs sont en contact avec plus de deux environnements. Par exemple, un appui de fondation au-dessus d'une cave non chauffée ou d'un vide sanitaire, ou des nœuds constructifs entre l'intérieur, l'extérieur et un espace adjacent non chauffé (EANC).

Pour le calcul numérique de la valeur Ψ , la température dans les EANC / cave non chauffée / vide sanitaire doit être considérée comme égale à la température extérieure. Cela signifie que les températures suivantes sont à prendre en compte :

- intérieur : θ_i = au choix, en °C ;
- extérieur : θ_e = au choix, en °C ;
- EANC / cave non chauffée / vide sanitaire : $\theta_u = \theta_e$, en °C.

Avec ces températures d'environnement et une résistance thermique d'échange R_{si} (conditions intérieures) pour les EANC / cave non chauffée / vide sanitaire, le flux thermique stationnaire total Φ_{2D} entre les environnements intérieur et extérieur peut être calculé. Dans le cas des cave et vide sanitaire, le sol doit aussi être pris en compte dans le modèle numérique (voir § 6.1.1.2).

Annexe 1 - Spécifications du calcul exact de l'influence des nœuds constructifs linéaires et ponctuels sur le flux thermique total

La valeur Ψ_e est alors déterminée de la manière suivante (explication des termes, voir Figure [5]) :

$$\text{Eq. 9} \quad \Psi_e = \frac{\Phi_{2D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} - \frac{U_1 \cdot A_1}{L} - \frac{U_2 \cdot A_2}{L} \quad \text{W/(m.K)}$$

avec :

Φ_{2D} le flux thermique stationnaire bidimensionnel total qui sort de l'environnement intérieur, calculé à l'aide d'un logiciel de simulation numérique, en W ;

L la longueur du nœud constructif modélisé, en m ;

$(\theta_i - \theta_e)$ la différence de température entre les environnements intérieur et extérieur, en K ;

U_1 le coefficient de transmission thermique de la paroi entre les environnements intérieur et extérieur, en $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

A_1 la surface de la paroi entre les environnements intérieur et extérieur mesurée à partir des dimensions extérieures, en m^2 ;

U_2 le coefficient de transmission thermique équivalent de la paroi entre l'environnement intérieur et les EANC / cave non chauffée / vide sanitaire, déterminé comme indiqué ci-dessous, en $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

A_2 la surface de la paroi entre l'environnement intérieur et les EANC / cave non chauffée / vide sanitaire, mesurée à partir des dimensions extérieures, en m^2 .

Le coefficient de transmission thermique équivalent de la paroi entre l'environnement intérieur et les EANC / cave non chauffée / vide sanitaire, U_2 , est donné par :

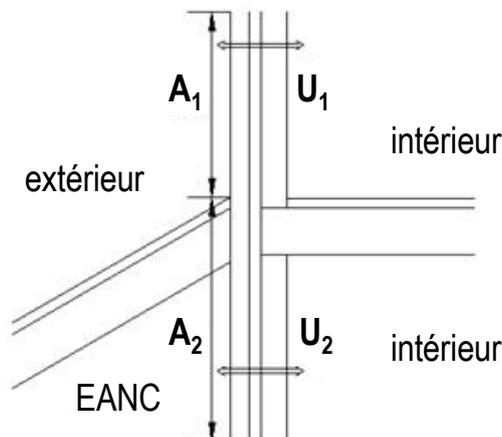
$$\text{Eq. 10} \quad U_2 = \frac{1}{R_{si} + \sum_i R_i + R_{se}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

avec :

R_{si} la résistance thermique d'échange intérieure, en $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;

$\sum_i R_i$ la résistance thermique totale de toutes les couches i de matériaux de l'élément de construction (de face à face), en $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Figure [5] : Explication des termes utilisés dans le cas d'un espace adjacent non chauffé



7.3 Appui de fondation d'un plancher sur sol

Pour l'appui de fondation d'un plancher sur sol, le modèle (massif de sol compris, voir § 6.1.1.2) est calculé de manière bidimensionnelle et Φ_{2D} est calculé comme le flux thermique total qui sort de l'environnement intérieur.

Le coefficient de transmission thermique linéaire est alors égal à :

$$\text{Eq. 11} \quad \Psi_e = \frac{\Phi_{2D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} - \frac{A_1 \cdot U_1}{L} - \frac{\Phi_{2D,a}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} - \Psi_{e, \text{edge}} \quad \text{W/(m.K)}$$

avec

Φ_{2D} le flux thermique stationnaire bidimensionnel qui sort de l'environnement intérieur, calculé à l'aide d'un logiciel de simulation numérique, en W ;

L la longueur du nœud constructif modélisé, en m ;

$(\theta_i - \theta_e)$ la différence de température entre les environnements intérieur et extérieur, en K ;

A_1 la surface du mur entre les environnements intérieur et extérieur, mesurée à partir des dimensions extérieures, en m² ;

U_1 le coefficient de transmission thermique du mur, en W/(m².K) ;

$\Phi_{2D,a}$ le flux thermique stationnaire bidimensionnel total qui sort de l'environnement intérieur, en W, calculé à l'aide d'un logiciel de simulation numérique, sur base du modèle qui doit être adapté de la manière suivante :

- on néglige tous les massifs de fondation et/ou isolation périphérique en remplaçant ceux-ci par du sol avec une conductivité thermique de 2 W/(m.K),
- on attribue des conditions périphériques adiabatiques là où le mur (qui en principe se prolonge jusqu'au bas du plancher, isolation du plancher comprise) est en contact avec le plancher sur sol ou le sol ;

$\Psi_{e, \text{edge}}$ le coefficient de transmission thermique linéaire de l'isolation périphérique. Si le coefficient de transmission thermique linéaire de l'appui de fondations contient l'effet de l'isolation périphérique, $\Psi_{e, \text{edge}}$ doit être égal à zéro. Si le coefficient de transmission thermique linéaire de l'appui de fondations ne contient pas l'effet de l'isolation périphérique, alors $\Psi_{e, \text{edge}}$ doit être calculé selon :

$$\text{Eq. 12} \quad \Psi_{e, \text{edge}} = \frac{\Phi_{2D,b}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} - \frac{\Phi_{2D,a}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} \quad \text{W/(m.K)}$$

avec :

$\Phi_{2D,b}$ le flux thermique stationnaire bidimensionnel total qui sort de l'environnement intérieur, en W, calculé à l'aide d'un logiciel de simulation numérique, sur base du modèle qui doit être adapté de la manière suivante :

- on tient compte de tous les massifs de fondation et de l'isolation périphérique ;
- on attribue des conditions périphériques adiabatiques là où le mur (qui en principe se prolonge jusqu'au bas du plancher, isolation du plancher comprise) est en contact avec le plancher sur sol ou le sol.

Annexe 1 - Spécifications du calcul exact de l'influence des nœuds constructifs linéaires et ponctuels sur le flux thermique total

La Figure [6] et la Figure [8] précisent la manière suivant laquelle le modèle doit être adapté pour le calcul respectivement des flux thermiques $\Phi_{2D,a}$ et $\Phi_{2D,b}$.

Figure [6] : Adaptation du détail réel pour le calcul du flux thermique $\Phi_{2D,a}$
(gauche : situation réelle - droite : situation simulée)

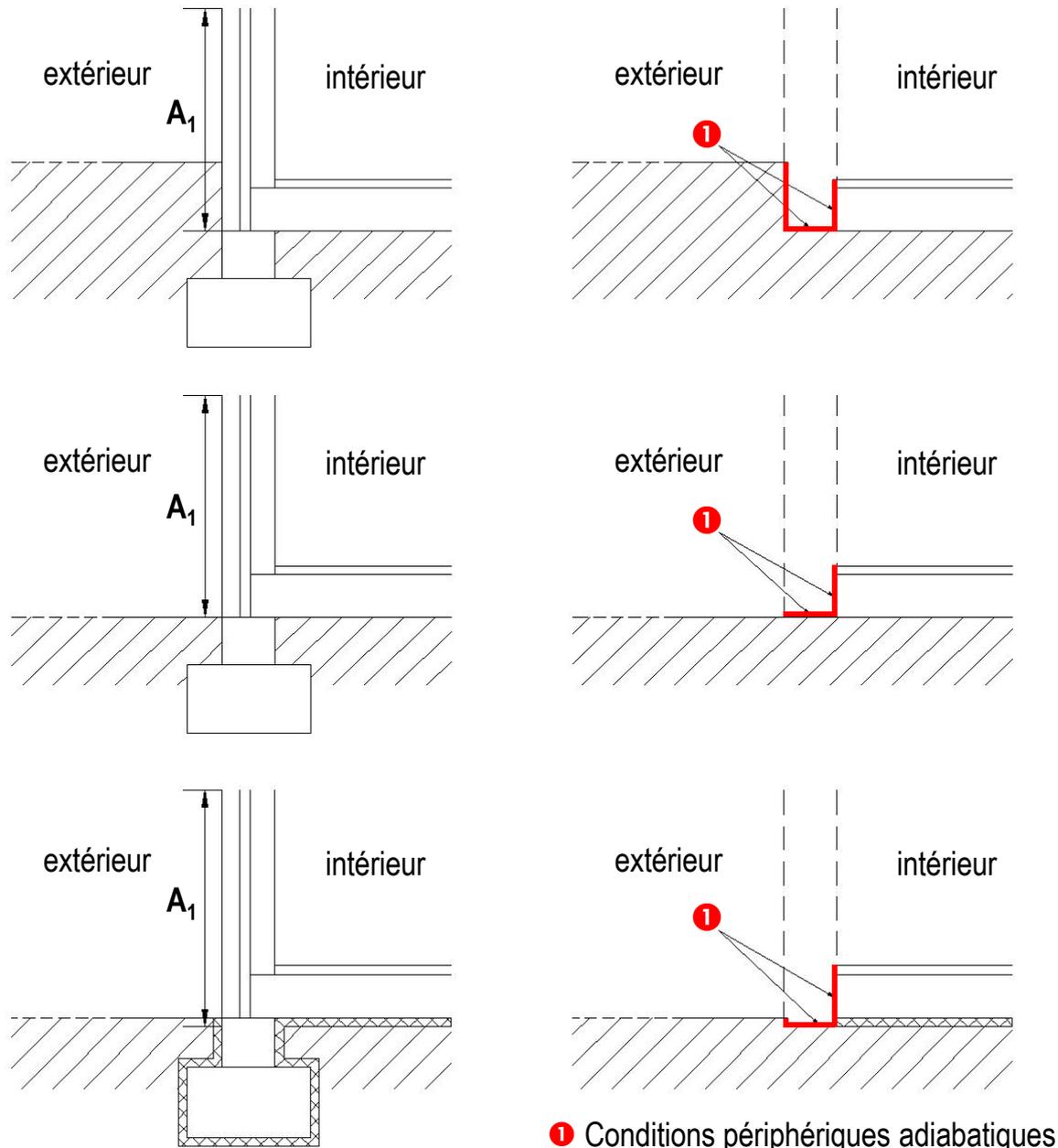
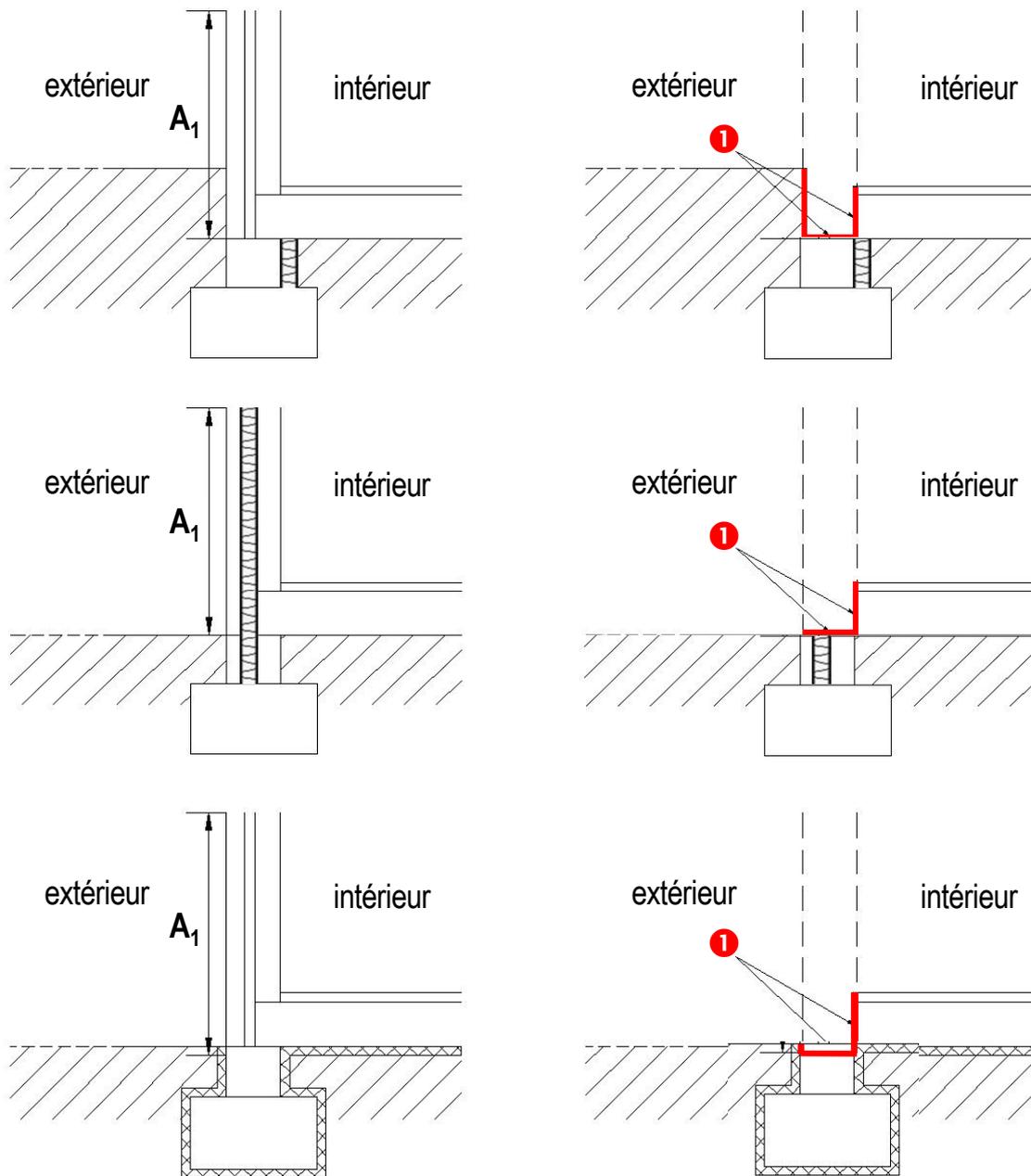


Figure [7] : Adaptation du détail réel pour le calcul du flux thermique $\Phi_{2D,b}$
(à gauche : situation réelle - à droite : situation à simuler)



① Conditions périphériques adiabatiques

7.4 Raccords aux fenêtres et portes

Pour déterminer la valeur Ψ d'un raccord à une fenêtre ou à une porte, il est uniquement tenu compte de la paroi et du châssis de fenêtre ou de porte. On peut choisir entre une méthode de calcul détaillée (§ 7.4.1) ou simplifiée (§ 7.4.2).

Dans les deux méthodes, le coefficient de transmission thermique linéaire est égal à :

$$\text{Eq. 13} \quad \Psi_e = \frac{\Phi_{2D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} - \frac{A_1 \cdot U_1}{L} - \frac{A_2 \cdot U_2}{L} \quad \text{W/(m.K)}$$

avec :

Φ_{2D} le flux thermique stationnaire bidimensionnel total qui sort de l'environnement intérieur, calculé à l'aide d'un logiciel de simulation numérique, en W ;

L la longueur du nœud constructif modélisé, en m ;

$(\theta_i - \theta_e)$ la différence de température entre les environnements intérieur et extérieur, en K ;

A_1 la surface de la paroi entre les environnements intérieur et extérieur, mesurée à partir des dimensions extérieures, en m^2 ;

U_1 le coefficient de transmission thermique de la paroi, en $W/(m^2.K)$;

A_2 la surface projetée du châssis du côté extérieur, mesurée à partir des dimensions extérieures, en m^2 ;

U_2 le coefficient de transmission thermique du châssis, en $W/(m^2.K)$.

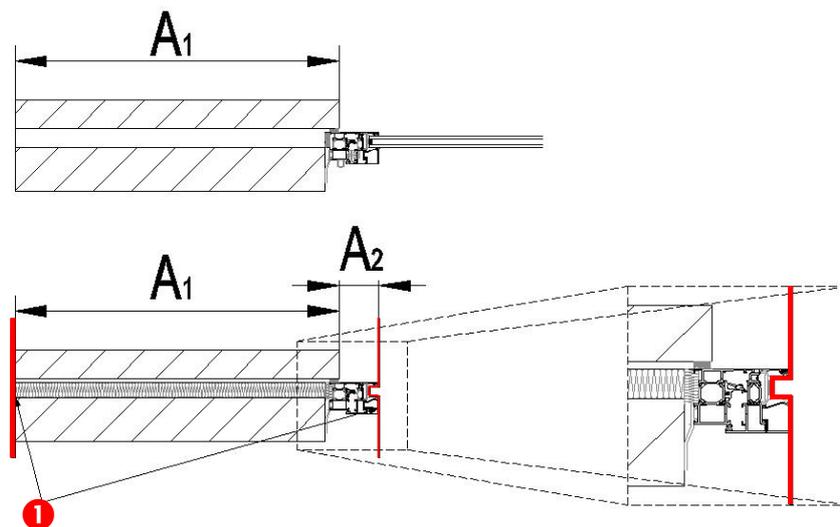
7.4.1 Méthode de calcul détaillée

Dans la méthode de calcul détaillée, le châssis de fenêtre ou de porte est modélisé en détail et le coefficient de transmission thermique U_2 dans l'Eq. 13 est déterminé conformément aux prescriptions de la NBN ISO 10077-2.

Pour la détermination de la valeur Ψ , ce modèle détaillé est repris. A la surface de contact entre le châssis de fenêtre ou de porte et le vitrage et/ou les espaceurs, des conditions périphériques adiabatiques doivent être appliquées. Le vitrage et les espaceurs eux-mêmes ne sont donc pas modélisés.

La Figure [8] présente les paramètres qui sont nécessaires au calcul de la valeur Ψ .

Figure [8] : Méthode de calcul détaillée
(au-dessus : situation réelle - en-dessous : situation simulée)



① Conditions périphériques adiabatiques

7.4.2 Méthode de calcul simplifiée

Une simplification du détail du châssis est autorisée pour les types de châssis de fenêtres et de portes, sauf pour les châssis à coupure thermique en contact avec une paroi opaque dont l'isolation n'est pas raccordée avec la coupure thermique du châssis.

La simplification consiste à remplacer le châssis de fenêtre ou de porte par un bloc homogène avec les caractéristiques suivantes (Figure [9]) :

- la dimension a du bloc est égale à l'épaisseur du cadre fixe de la fenêtre mesurée perpendiculairement au plan du vitrage ;
- la dimension b du bloc est égale à la largeur du profil de châssis complet (tant la partie fixe que la partie ouvrante), mesurée parallèlement au plan du vitrage ;
- la conductivité thermique λ'_f du bloc, déterminée comme mentionné ci-dessous ;
- le vitrage et les espaceurs ne sont pas modélisés ;
- ce bloc homogène doit se trouver dans la position exacte du profil réel d'origine. Le vitrage n'est pas modélisé, donc, du côté du vitrage, la limite adiabatique du modèle à simuler se trouve à la limite du bloc homogène ;
- pour le calcul de la valeur Ψ , les surfaces correspondantes A_1 et A_2 doivent être utilisées.

La conductivité thermique λ'_f du bloc est déterminé de telle manière que le coefficient de transmission thermique total du bloc est identiquement égal au coefficient de transmission thermique U_f du châssis. Pour le calcul de U_f , on se référera à l'annexe DRT. Pour la simulation d'un raccord avec une fenêtre, la valeur λ'_f équivalente du bloc doit être calculé de la manière suivante :

Eq. 14 $\lambda'_f = \frac{a}{\frac{1}{U_f} - R_{si} - R_{se}}$ W/(m.K)

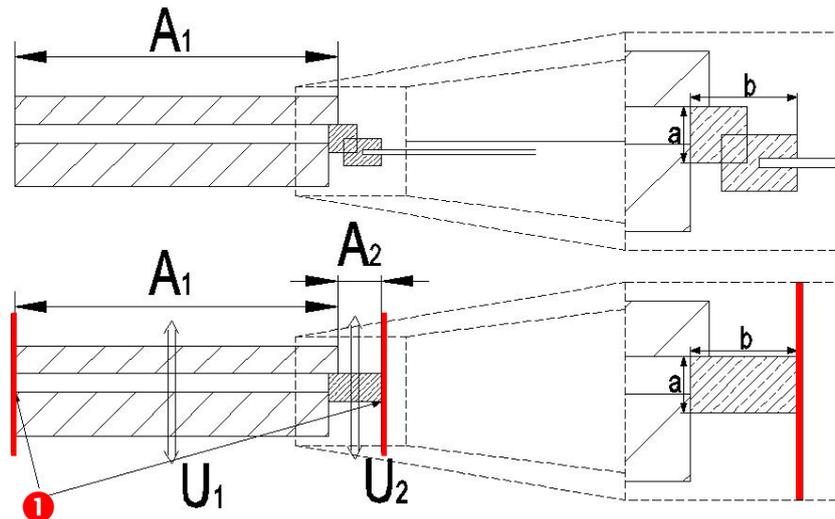
Annexe 1 - Spécifications du calcul exact de l'influence des nœuds constructifs linéaires et ponctuels sur le flux thermique total

avec :

- a une dimension du bloc (voir Figure [9]), en m ;
 U_f le coefficient de transmission thermique du châssis, déterminé conformément à l'annexe DRT, en $W/(m^2.K)$;
 R_{si} la résistance thermique d'échange intérieure, en $m^2.K/W$;
 R_{se} la résistance thermique d'échange extérieure, en $m^2.K/W$.

La Figure [9] présente les paramètres qui sont nécessaires au calcul de la valeur Ψ .

Figure [9] : Méthode de calcul simplifiée
(au-dessus : situation réelle - en-dessous : situation simulée)



① Conditions périphériques adiabatiques

7.5 Nœuds constructifs dans le cas de parois en ossature bois ou en ossature métallique

Comme précisé au § 6.1.3.1, les parois en structure en bois (toit à verners ou à chevrons, planchers en bois, mur à ossature bois, ...), ou avec d'autres interruptions linéaires propres à une paroi (p.ex. des connexions linéaires entre des panneaux sandwich), ne peuvent pas être modélisées de manière simplifiée.

Pour déterminer la valeur Ψ_e d'un nœud constructif, les valeurs U des parois qui font partie du nœud constructif et qui contiennent des interruptions linéaires, doivent obligatoirement être déterminées numériquement. Cela signifie qu'un deuxième calcul numérique est nécessaire, dans lequel une partie représentative de la paroi est modélisée séparément (y compris chevrons, verners, montants, poutres, couches métalliques, raccords) et dans lequel la valeur U est déterminée de la manière suivante :

$$\text{Eq. 15} \quad U = \frac{\Phi_{2D/3D}}{A \cdot (\theta_i - \theta_e)} \quad W/(m^2.K)$$

avec :

Annexe 1 - Spécifications du calcul exact de l'influence des nœuds constructifs linéaires et ponctuels sur le flux thermique total

$\Phi_{2D/3D}$	le flux thermique stationnaire bi- ou tridimensionnel total à travers la paroi, y compris les interruptions linéaires propres à la paroi, calculé avec un logiciel numérique validé, en W ;
A	la surface de la paroi telle qu'introduite dans le modèle numérique, en m ² ;
$(\theta_i - \theta_e)$	la différence de température entre les environnements intérieur et extérieur, en K.

8 Exigences pour le rapport

8.1 Données à introduire

Le rapport doit au minimum contenir les données d'entrée suivantes :

- logiciel utilisé ;
- modèle bi- ou tridimensionnel avec dimensions ;
- conductivités thermiques des matériaux utilisés ;
- températures d'environnements appliquées ;
- résistances thermiques d'échanges utilisés et indication des surfaces pour lesquelles elles sont d'application ;
- simplifications éventuellement appliquées comme autorisé au § 6.1.2 ;
- éventuelles conductivités thermiques équivalentes.

8.2 Données à extraire

Le rapport doit au minimum contenir les résultats suivants :

- Φ_{2D} ;
- le coefficient de transmission thermique Ψ/χ avec une précision de deux chiffres après la virgule ;
- valeurs U et surfaces A utilisées pour le calcul de Ψ/χ .

Vu pour être annexé à l'arrêté ministériel portant exécution des annexes V, XVII et XVIII de l'arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 21 décembre 2007 déterminant des exigences en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments et portant exécution de l'Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 26 janvier 2017 établissant les lignes directrices et les critères nécessaires au calcul de la performance énergétique des unités PEB et portant modification de divers arrêtés d'exécution de l'ordonnance du 2 mai 2013 portant le Code bruxellois de l'Air, du Climat et de la Maîtrise de l'Energie

Bruxelles, le 18 janvier 2019

La Ministre du Logement, de la Qualité de Vie, de l'Environnement et de l'Energie

Céline FREMAULT