

Performances thermiques de bâtiments - Calcul des coefficients de transmission thermique (valeurs U) des composants et éléments de bâtiments - Calcul des coefficients de transfert de chaleur par transmission (valeur HT) et par ventilation (valeur Hv)

Thermische prestaties van gebouwen - Berekening van de warmtedoorgangscoefficiënten (U-waarden) van gebouwcomponenten en gebouwelementen - Berekening van de warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie (HT-waarde) en ventilatie (Hv-waarde)

Thermal performances of buildings - Calculation of thermal transmittances of building components and building elements - Calculation of transmission and ventilation heat transfer coefficients

Autorisation de publication: 26 novembre 2008

Rempalce NBN B 62-002 (1987), NBN B 62-002/A1 (2001) et NBN B 62-002/A2 (2005).

Commission: Isolation thermique des bâtiments

Table de matière

1.	INTRODUCTION.....	4
2.	DOMAINE D'APPLICATION DE NBN B 62-002	5
3.	RÉFÉRENCES NORMATIVES	5
4.	DÉFINITIONS, UNITÉS ET SYMBOLES.....	7
4.1	Définitions.....	7
4.2	Symboles et unités.....	11
5.	DÉTERMINATION DE LA RÉSISTANCE THERMIQUE DE COUCHES DE CONSTRUCTION DANS LES ÉLÉMENTS ET/OU COMPOSANTS DE BÂTIMENT	13
5.1	Généralités	13
5.2	Résistances thermiques d'échange aux surfaces.....	14
5.3	Résistance thermique des couches homogènes d'un élément de bâtiment.....	14
5.4	Résistance thermique des couches d'air dans les éléments ou composants de bâtiment..	17
5.5	Résistance thermique d'espaces d'air non chauffés à l'intérieur du volume protégé	22
6.	DÉTERMINATION DE LA RÉSISTANCE THERMIQUE TOTALE DES ÉLÉMENTS DE BÂTIMENT	24
6.1	Éléments de bâtiment constitués de couches homogènes.....	24
6.2	Éléments de bâtiment constitués de couches homogènes et non homogènes.....	24
6.3	Conventions relatives aux blocs ou briques perforés	28
6.4	Conventions relatives aux couches non homogènes d'un élément de bâtiment avec structure en bois	29
7.	COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE D'ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION OPAQUES	30
7.1	Expression générale	30
7.2	Méthodes de calcul numériques et simplifiées	30
7.3	Conventions complémentaires relatives à la détermination de valeur U	31
7.4	Corrections sur la valeur U des éléments de construction opaques.....	32
7.5	Valeur U d'un élément de construction d'épaisseur variable et de forme irrégulière.....	37
7.6	Valeurs U des grilles de ventilation posées dans un élément de paroi	40
8.	COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE DES COMPOSANTS DE FENÊTRES ET PORTES	41
8.1	Introduction.....	41
8.2	Coefficient de transmission thermique des profilés d'encadrement	41
8.3	Coefficient de transmission thermique des vitrages	44
8.4	Coefficient de transmission thermique de panneaux opaques (U_p).....	46
8.5	Coefficient de transmission thermique (U_r) de grilles de ventilation posées comme composant de fenêtre	46
8.6	Coefficients de transmission thermique linéiques (valeurs Ψ) des jonctions entre des composants de fenêtre.....	46
9.	DÉTERMINATION DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE DES FENÊTRES ET PORTES EN TANT QU'ÉLÉMENT DE CONSTRUCTION	47
9.1	Caractéristiques géométriques des fenêtres et portes	47
9.2	Détermination générale du coefficient de transmission thermique d'une fenêtre (U_w), constituée de composants (profilés d'encadrement, vitrage)	51
9.3	Détermination du coefficient de transmission thermique d'une fenêtre simple (U_w), constituée de composants (profilés d'encadrement, vitrage, panneau de remplissage opaque, grille de ventilation)	52
9.4	Valeur U des fenêtres dans le cas de volets ou stores fermés.....	55
9.5	Détermination de la valeur U_w moyenne d'un ensemble de fenêtres.....	61
9.6	Valeurs U_D des portes	63
10.	COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE DES FAÇADES LÉGÈRES	65
10.1	Généralités	65

NBN B 62-002 (2008)

10.2	Caractéristiques constructives des façades légères.....	65
10.3	Détermination numérique précise de la valeur U_{cw} d'un module de façade légère.....	69
10.4	Détermination de la valeur U_{cw} (méthode de composants).....	71
10.5	Détermination de la valeur U_{cw} d'une façade légère composée de modules	74
11.	COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE D'AUTRES ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION TRANSLUCIDES.....	75
11.1	Briques de construction et carreaux en verre	75
11.2	Coupoles de toit	77
11.3	Lanterneaux (plaques profilées translucides)	77
11.4	Verre profilé.....	78
12.	CALCUL DES DÉPERDITIONS CALORIFIQUES PAR TRANSMISSION PAR LES PONTS THERMIQUES DANS ET ENTRE LES ÉLÉMENTS DE BÂTIMENT	79
12.1	Généralités	79
12.2	Détermination précise de la transmission thermique par les ponts thermiques	79
12.3	Détermination simplifiée de la transmission thermique par les ponts thermiques.....	80
13.	COEFFICIENT DE TRANSFERT DE CHALEUR D'UN BÂTIMENT	83
13.1	Généralités	83
13.2	Volume protégé, espace chauffé (refroidi), espace adjacent non chauffé	84
14.	COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE TOTALE PAR TRANSMISSION (H_T) D'UN BÂTIMENT	86
14.1	Equation de base	86
14.2	Conventions relatives à la détermination précise ou simple des termes H_T	86
14.3	Modélisation de l'enveloppe du bâtiment.....	87
14.4	Conventions pour la détermination des aires et volumes	88
14.5	Conventions relatives à certains éléments de bâtiment	89
15.	COEFFICIENT DE TRANSFERT DE CHALEUR DIRECT PAR TRANSMISSION (H_D) DE L'ESPACE CHAUFFÉ (OU REFROIDI) D'UN BÂTIMENT VERS L'ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR	93
15.1	Expression générale	93
15.2	Détermination précise de H_D	94
15.3	Détermination simplifiée de H_D	94
16.	COEFFICIENT DE TRANSFERT DE CHALEUR PAR TRANSMISSION VIA LE SOL OU VIA DES ESPACES NON CHAUFFÉS RENFERMÉS PARTIELLEMENT OU ENTIÈREMENT PAR LE SOL (H_G).....	95
16.1	Généralités	95
16.2	Paramètres et règles relatifs aux termes liés à la surface de H_g	96
16.3	Planchers inférieurs non enterrés du VP en contact direct avec le sol.....	98
16.4	Planchers et murs enterrés du VP en contact direct avec le sol	101
16.5	Planchers inférieurs du VP au-dessus de vides sanitaires non chauffés	104
16.6	Planchers inférieurs du VP au-dessus d'espaces non chauffés entièrement ou partiellement renfermés par le sol	107
17.	COEFFICIENT DE TRANSFERT DE CHALEUR PAR TRANSMISSION (H_U) ENTRE DES ESPACES CHAUFFÉS (REFROIDIS) ET L'ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR À TRAVERS DES ESPACES ADJACENTS NON CHAUFFÉS (EANC).....	111
17.1	Généralités	111
17.2	Bilan thermique de l'EANC (sans gains solaires)	112
17.3	Bilan thermique de l'EANC (avec gains solaires)	114
17.4	EANC situé sous le toit, considéré comme une couche d'air	115
18.	COEFFICIENT DE TRANSFERT DE CHALEUR PAR TRANSMISSION (H_A) ENTRE LES ESPACES CHAUFFÉS (REFROIDIS) ET DES BÂTIMENTS AVOISINANTS.....	117
18.1	Détermination de H_A	117
18.2	Conventions relatives aux murs mitoyens	117
19.	COEFFICIENT DE TRANSFERT DE CHALEUR PAR VENTILATION (H_V) DU VOLUME PROTÉGÉ	119
19.1	Détermination générale de H_V	119
19.2	Débit de ventilation pour la détermination de H_V pour le VP	119

ANNEXE A TABLEAUX DE VALEURS DE CALCUL POUR LA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE (VALEUR λ) DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.....	124
ANNEXE B RÉSISTANCE THERMIQUE (VALEUR R) DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION NON HOMOGÈNES..	134
ANNEXE C TENEUR EN HUMIDITÉ ET FACTEURS DE CONVERSION POUR MATÉRIAUX PIERREUX	135
ANNEXE D VALEURS TABULÉES SIMPLIFIÉES DE LA VALEUR MOYENNE $U_{w,T}$ POUR UN ENSEMBLE DE FENÊTRES À CARACTÉRISTIQUES IDENTIQUES.	136
ANNEXE E COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE DES VITRAGES (VALEURS U_g)	139
ANNEXE F COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE DES PROFILÉS D'ENCADREMENT (VALEURS U_f).	140
ANNEXE G COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE LINÉIQUE (VALEURS Ψ) DES JONCTIONS ENTRE PROFILÉS D'ENCADREMENT, VITRAGES, PANNEAUX OPAQUES ET TRAVERSES.	145
ANNEXE H PONTS THERMIQUES. VALEURS SIMPLIFIÉES POUR LES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE LINÉIQUES.	151
ANNEXE I TRANSMISSION THERMIQUE PAR LES PAROIS EN CONTACT AVEC LE SOL OU LES ESPACES ADJACENTS NON CHAUFFÉS PARTIELLEMENT OU TOTALEMENT RENFERMÉS PAR LE SOL. PROCÉDURES DE CALCUL SUIVANT NBN EN ISO 13370.	159
ANNEXE J BILAN THERMIQUE D'UN EANC SUR LA BASE D'UNE DÉTERMINATION SIMPLIFIÉE DES TERMES H_{iU} ET H_{UE}	182
ANNEXE K EXEMPLES DE CALCUL (VALEURS U ET R).....	184
ANNEXE L EXEMPLES DE CALCUL (VALEURS H)	205

1. Introduction

La norme NBN B 62-002 (2008) remplace les NBN B 62-002 (1987), NBN B 62-002/A1 (2001) et NBN B 62-002/A2 (2005), et implémente une série de normes européennes (voir références normatives) relatives au transfert de chaleur dans un bâtiment ¹ en régime stationnaire.

La norme NBN B 62-002 (2008) se subdivise en deux parties.

La partie 1 de la norme NBN B 62-002 indique comment déterminer le transfert de chaleur pour les éléments de bâtiment qui séparent directement l'environnement intérieur de l'espace chauffé (refroidi) de l'environnement extérieur. A cette fin, elle donne la méthode de détermination de la résistance thermique R [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] des couches de construction homogènes et non homogènes ainsi que la résistance thermique totale R_T [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] des éléments de bâtiment composés de couches de construction ou de composants. En outre, cette partie donne la méthode de détermination du coefficient de transmission thermique U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] des éléments de bâtiment qui forment la séparation entre les différents environnements intérieurs et extérieurs. Enfin, elle donne la méthode de détermination de l'incidence des ponts thermiques présents dans ces éléments de bâtiment (ou leurs composants) et dans leurs raccordements.

La partie 2 de la norme NBN B 62-002 implémente la norme NBN EN ISO 13789 ; un coefficient de transfert de chaleur total H (W/K) vers l'environnement extérieur y est déterminé comme la somme du coefficient de transfert de chaleur total par transmission H_T (W/K) et d'un coefficient de transfert de chaleur net par ventilation H_V (W/K) vers l'air extérieur. Tous les coefficients de transfert de chaleur H_V et H_T (avec des termes constitutifs pour H_T) sont exprimés en W/K , de sorte que l'écart de température entre environnement intérieur et environnement extérieur peut servir pour déterminer les besoins nets en énergie pour le chauffage (refroidissement) d'un bâtiment (à calculer, selon la norme NBN EN ISO 13790, avec une ou plusieurs zones de calcul à prendre en considération).

Le coefficient de transfert de chaleur total H_T détermine, en régime stationnaire, le transfert de chaleur total par transmission entre l'espace chauffé (refroidi) à l'intérieur du volume protégé et l'environnement extérieur, et est exprimé comme la somme des termes suivants :

- H_D détermine le transfert de chaleur par transmission directement vers l'environnement extérieur ;
- H_U détermine le transfert de chaleur par transmission vers l'environnement extérieur via des espaces non chauffés qui constituent un environnement tampon entre l'espace chauffé (refroidi) et l'environnement extérieur ;
- H_g détermine le transfert de chaleur par transmission vers l'environnement extérieur à travers le sol ou à travers un espace renfermé en tout ou en partie par le sol. Le terme H_g implémente NBN EN ISO 13370 ; le transfert de chaleur à travers le sol ou à travers des environnements enfermés en tout ou en partie par le sol est déterminé par un coefficient de transmission thermique spécifique U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] qui inclut l'effet tampon du sol dans le calcul. Par ailleurs, on tient également compte de l'influence de ponts thermiques éventuels aux endroits où les planchers inférieurs des espaces chauffés (refroidis) se raccordent aux éléments de bâtiment contigus à l'environnement extérieur.

Le coefficient de transfert de chaleur H_V implémente NBN EN ISO 13789 en ce qui concerne le calcul du transfert de chaleur par ventilation et la détermination des débits de ventilation et/ou d'infiltration qui y sont liés pour le bâtiment. A cet effet, une distinction est établie entre ventilation naturelle et mécanique, avec détermination des débits d'air d'alimentation et/ou d'évacuation et, en cas de systèmes de ventilation mécanique, compte tenu d'une récupération éventuelle de la chaleur.

Les textes, tableaux, figures ou graphiques des normes européennes citées dans les références normatives restent valables entièrement et dans leur ensemble. Pour les cas spéciaux qui ne sont pas traités dans la présente norme, on consultera également les normes européennes citées. Au besoin, des compléments, des adaptations ou des méthodes de détermination simplifiées ont été ajoutés à cette norme, afin de tenir

¹ Par "bâtiment" s'entend : un bâtiment ou une partie de bâtiment ayant une destination distincte.

compte de la pratique de la construction en Belgique (techniques d'exécution, produits, matériaux...) ou pour établir des conventions univoques qui peuvent être utilisées pour le contrôle d'exigences et de critères émanant de réglementations nationales ou régionales en matière de performances thermiques et énergétiques des bâtiments.

2. Domaine d'application de NBN B 62-002

La norme NBN B 62-002 s'applique pour calculer le transfert de chaleur par transmission et par ventilation entre les espaces chauffés (refroidis) dans les bâtiments et l'environnement extérieur, les conditions climatiques normalement présentes en Belgique sur le plan de la température et de la teneur en humidité valant pour ce qui est de l'environnement extérieur et de l'environnement intérieur destiné à l'occupation par les personnes. Il est accepté, par convention, que la direction du flux thermique est perpendiculaire à l'élément considéré du bâtiment, lequel est supposé avoir été conçu et mis en œuvre selon les règles de l'art.

En ce qui concerne les éléments de bâtiment, les procédures de calcul suivantes sont utilisées en fonction de leur nature et de leur complexité ainsi que du but du calcul:

- soit des calculs précis, qui peuvent s'utiliser si les caractéristiques ou les performances des éléments de bâtiment sont connues et qui produisent en principe des résultats précis ; les calculs numériques peuvent être considérés comme précis pour autant qu'ils soient appliqués correctement à l'aide d'un programme informatique validé, tel que prévu dans les spécifications des normes correspondantes ;
- soit des calculs simples, qui peuvent toujours s'utiliser (p. ex. sur la base de valeurs par défaut) mais produisent en principe des résultats moins précis mais sûrs.

Il est permis de combiner les deux méthodes susmentionnées, par exemple en calculant numériquement la résistance thermique d'une couche dans un élément de bâtiment et en utilisant ensuite cette valeur pour déterminer la valeur U de l'élément de bâtiment dans lequel se trouve la couche en question.

Pour déterminer la valeur H d'un bâtiment, il faut prendre en considération des conditions spécifiques selon le but du calcul. Le champ d'application de cette norme est donc limité aux domaines décrits dans l'introduction, mais ne s'étend pas aux objectifs de calcul suivants:

- l'évaluation du risque de condensation interne ou externe dans les parois des bâtiments, pour laquelle on consultera NBN EN ISO 13788 ;
- le calcul des besoins énergétiques des bâtiments, pour lequel on consultera NBN EN ISO 13790 ;
- le dimensionnement des installations de climatisation, pour lequel on consultera NBN EN 12831 et/ou NBN B 62-003.

3. Références normatives

La dernière édition (amendements éventuels compris) des normes suivantes est d'application pour l'utilisation de cette norme.

NBN EN 673	Verre dans la construction - Détermination du coefficient de transmission thermique - Méthode de calcul.
NBN EN 674	Verre dans la construction - Détermination du coefficient de transmission thermique - Méthode de l'anneau de garde.
NBN EN 675	Verre dans la construction - Détermination du coefficient de transmission thermique - Méthode du fluxmètre.
NBN EN 1013-1	Plaques profilés éclairantes en matière plastique pour couverture en simple paroi - Exigences générales et méthodes d'essai.
NBN EN 1051-2	Verre dans la construction - Briques en verre et pavés en verre - Partie 2: évaluation de conformité.
prEN 1098	Measuring method for the determination of the thermal transmittance of multiple glazing - Calibrated and guarded hot box method.

NBN B 62-002 (2008)

NBN EN 1745	Maçonnerie et éléments de maçonnerie - Détermination des valeurs thermiques de calcul.
NBN EN 1873	Accessoires préfabriqués pour couverture - Lanterneaux ponctuels en matière plastique - Spécifications des produits et méthodes d'essais.
NBN EN 1934	Performance thermique des bâtiments - Détermination de la résistance thermique selon la méthode de la boîte chaude avec fluxmètre - Maçonnerie.
NBN EN ISO 6946	Composants et parois de bâtiments - Résistance thermique et coefficient de transmission thermique - Méthode de calcul.
NBN EN ISO 7345	Isolation thermique – Grandeurs physiques et définitions.
NBN EN ISO 8990	Isolation thermique - Détermination des propriétés de transmission thermique en régime stationnaire - Méthode à la boîte chaude gardée et calibrée.
NBN EN ISO 9346	Isolation thermique – Transfert de masse – Grandeurs physiques et définitions.
NBN EN ISO 10077:-1	Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Calcul du coefficient de transmission thermique - Partie 1: Généralités.
NBN EN ISO 10077:-2	Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Calcul du coefficient de transmission thermique - Partie 2: Méthode numérique pour les profilés d'encadrement de menuiserie.
NBN EN ISO 10211	Ponts thermiques dans les bâtiments - Calcul des flux thermiques et des températures superficielles - Calculs détaillés.
NBN EN ISO 10456	Isolation thermique – Matériaux et produits du bâtiment - Procédures pour la détermination des valeurs déclarées et utiles.
NBN EN 12428	Portes équipant les locaux industriels, commerciaux et les garages - Transmission thermique - Exigences pour les calculs.
NBN EN 12412-2	Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude - Partie 2: Profilés d'encadrement.
NBN EN 12412-4	Thermal performance of windows, doors and shutters - Determination of thermal transmittance by hot box method - Part 4: Roller shutter boxes.
NBN EN ISO 12567-1	Isolation thermique des fenêtres et portes - Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude.
NBN EN ISO 12567-2	Isolation thermique des fenêtres et portes - Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude - Partie 2: Fenêtres de toit et autres fenêtres en saillie.
NBN EN 12664	Performance thermique des matériaux et produits pour le bâtiment - Détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique - Produits secs et humides de moyenne et basse résistance thermique.
NBN EN 12667	Performance thermique des matériaux et produits pour le bâtiment - Détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique - Produits de haute et moyenne résistance thermique.
NBN EN 12939	Performance thermique des matériaux et produits pour le bâtiment - Détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique - Produits épais de haute et moyenne résistance thermique.
NBN EN 12831	Systèmes de chauffage dans les bâtiments - Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base.
NBN EN 12835	Fermetures étanches - Essai de perméabilité à l'air.
NBN EN ISO 13370	Performance thermique des bâtiments - Transfert de chaleur par le sol.
NBN EN 13125	Fermetures pour baies équipées de fenêtres, stores intérieurs et extérieurs - Résistance thermique additionnelle - Attribution d'une classe de perméabilité à l'air à un produit.
NBN EN 13241-1	Portes et barrières industrielles, commerciales et de garage - Norme de produit - Partie 1: Produits sans caractéristiques coupe-feu, ni pare-fumée.
NBN EN ISO 13779	Ventilation dans les bâtiments non résidentiels - Spécifications des performances pour les systèmes de ventilation et de climatisation.

NBN EN ISO 13788	Performance hygrométrique des composants et parois de bâtiments – Température superficielle intérieure permettant d'éviter l'humidité superficielle critique et la condensation dans la masse.
NBN EN ISO 13789	Performance thermique des bâtiments - Coefficient de déperdition par transmission - Méthode de calcul.
NBN EN 13829	Performance thermique des bâtiments - Détermination de la perméabilité à l'air des bâtiments - Méthode de pressurisation par ventilateur.
NBN EN 13947	Thermal performances of curtain walling - Calculation of thermal transmittance - Simplified method.
NBN EN ISO 14683	Ponts thermiques dans les bâtiments - Coefficient de transmission thermique linéique - Méthodes simplifiées et valeurs par défaut.
NBN EN 14963	Eléments de couverture - Lanterneaux continus en matière plastique avec et sans costière - Classification, spécifications et méthodes d'essais.
ISO 15099	Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations.
NBN EN 15242	Ventilation for buildings - Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration.
ISO/DIS 17000	Evaluation de la conformité - Vocabulaire et principes généraux.

4. Définitions, unités et symboles

4.1 Définitions

Air repris

Air qui quitte l'espace à traiter.

Apport d'air

Air qui pénètre dans le local à conditionner ou qui pénètre dans le système à l'issue d'un traitement.

Bâtiment

Bâtiment ou partie de bâtiment à destination particulière, quel que soit le nombre de zones de calcul à considérer.

Cave

Espace utilisable situé entièrement ou partiellement sous le niveau du sol. Cet espace peut être chauffé ou non.

Coefficient de transfert de chaleur par transmission (H_T en W/K)

Le flux thermique total par transmission qui se produit en régime stationnaire entre l'environnement intérieur chauffé (refroidi) et l'environnement extérieur, soit en direct, soit via le sol ou des espaces non chauffés et partiellement ou entièrement entourés de terre ou via des espaces adjacents non chauffés, divisé par la différence de température entre l'environnement intérieur et extérieur.

Coefficient de transfert de chaleur par ventilation (H_V en W/K)

Le flux thermique effectivement résultant par ventilation qui se produit en régime stationnaire entre l'environnement intérieur chauffé (refroidi) et l'environnement extérieur, divisé par la différence de température entre l'environnement intérieur et extérieur.

Coefficient de transmission thermique (U en W/m²K)

Densité du flux thermique en régime stationnaire, par degré de différence de température entre les ambiances de part et d'autre des éléments de construction.

Coefficient de transmission thermique linéique (Ψ en W/mK)

Terme correctif intervenant dans l'influence linéaire d'un pont thermique, égal au flux thermique stationnaire divisé par la longueur et la différence de température entre l'ambiance intérieure et l'ambiance extérieure de part et d'autre du pont thermique linéaire.

NOTE Le coefficient de transmission thermique linéique est utilisé comme terme correctif intervenant dans l'influence d'un pont thermique linéaire sur le coefficient de transmission thermique d'un élément de construction.

Coefficient de transmission thermique ponctuel (χ in W/K)

Terme correctif intervenant dans l'influence ponctuel d'un pont thermique, égal au flux thermique stationnaire divisé par la différence de température entre l'ambiance intérieure et l'ambiance extérieure de part et d'autre du pont thermique ponctuel.

Composant (de construction)

Partie composante d'un élément de construction.

Exemple : fenêtre (= élément de construction) – vitrage, encadrement de châssis, panneau opaque (= composantes de construction).

Conductivité thermique (λ_U en W/mK)

Flux thermique qui en régime stationnaire passe à travers le matériau, par unité de longueur et par degré de différence de température dans ce matériau. Cette valeur est déterminée dans des conditions spécifiques d'essai. Les valeurs λ mesurées forment la base pour le calcul statistique de la conductivité thermique déclarée (λ_D) et de la valeur de calcul (λ_U) dans des conditions intérieures ou extérieures.

Couche thermiquement homogène

Couche d'une partie de construction avec une épaisseur constante ayant des propriétés thermiques uniformes ou qui peuvent être considérées comme telles.

Débit de conception (ventilation)

Débit de ventilation pour lequel un système de ventilation mécanique est conçu.

Densité du flux thermique (q en W/m²)

Flux thermique par m² de superficie d'un élément de construction (ou d'une superficie caractéristique).

Dimension caractéristique du plancher bas ($B' = 2.A/P$ en m)

Superficie au sol A divisée par le demi-périmètre au sol ($1/2P$).

NOTE Ne s'applique qu'aux constructions reposant sur un terre-plein et/ou qui sont situées au-dessus d'espaces entièrement ou partiellement entourés de terre.

Dimension extérieure

Dimension mesurée à l'extérieur du bâtiment.

Dimension intérieure

Dimension mesurée d'une paroi à l'autre et du sol au plafond à l'intérieur d'une pièce d'un bâtiment.

Elément de construction

Elément dans une superficie de déperdition d'un bâtiment, composé de couches de construction ou de composants translucides ou non.

Espace adjacent non chauffé (EANC)

Espace adjacent au volume protégé considéré qui n'est pas chauffé ni refroidi et qui ne fait pas partie d'un volume protégé.

NOTE Les espaces non chauffés dont le plancher bas se situe en dessous du niveau du sol (vides sanitaires, caves non chauffées, ...) n'entrent pas en ligne de compte comme EANC.

Espace chauffé (refroidi) d'un bâtiment

Local ou espace qui sont chauffés (refroidis) à une température déterminée.

Espace destiné à l'occupation humaine

Espace prévu pour faire séjourner des gens en usage normal pendant une durée relativement longue.

Fenêtre

Elément de construction mis en place dans une paroi extérieure du VP d'un élément de construction, pour laisser pénétrer la lumière du jour et éventuellement l'air et qui comprend des éléments ouvrants ou non. Une fenêtre est composée de plusieurs éléments tels la menuiserie, les profilés d'encadrement, le vitrage et/ou les panneaux.

Flux thermique (Φ en W ou J/s)

La quantité de chaleur (Joule) apportée ou évacuée par unité de temps (sec.).

Infiltration

Passage incontrôlé d'air dans un local via des fuites dans l'enveloppe de ce local.

Matériau

Elément constitutif d'un produit ou existant indépendamment, de forme et dimensions indéfinies et ne présentant ni revêtement ni coating.

Mur mitoyen

Mur construit ("à cheval") le long ou à quelques centimètres des limites des parcelles ou des propriétés.

Périmètre au sol (périmètre P en m)

Longueur totale de la ligne qui sépare la surface du plancher bas d'un VP de l'environnement extérieur et/ou d'un EANC (les longueurs des lignes de séparation entre les planchers bas considérés et les espaces ou bâtiments avoisinants chauffés, ne font donc pas partie du périmètre au sol).

Pont thermique

Partie de la construction de séparation extérieure où la résistance thermique (unidimensionnelle et habituellement uniforme) est significativement modifiée par:

- a) un percement complet ou partiel de l'enveloppe du bâtiment par des matériaux ayant une conductivité thermique différente ;
- b) et/ou une modification de l'épaisseur de la construction ;
- c) et/ou une différence entre les aires extérieures et intérieures, comme lors de raccordements entre murs et sols, plafonds et toitures.

Pont thermique linéaire

Pont thermique ayant une section uniforme dans une seule direction.

Pont thermique ponctuel

Pont thermique se situant à un point d'un élément de construction.

Porte

Elément de construction, vitré ou non ou pourvu de parties transparentes, constitué d'une ou de plusieurs parties ouvrantes afin de créer un accès dans une paroi du VP. Un ensemble de porte comprend tous ses composants, y compris ceux qui assurent la fermeture et la mobilité.

Produit

Résultat final d'un matériau, prêt à l'emploi et comme placé et/ou installé, ayant certaines formes et dimensions et pourvu d'un revêtement ou d'un coating.

NBN B 62-002 (2008)

Résistance thermique (R en m²K/W)

Résistance thermique d'une couche de construction dans un élément de construction dans des conditions intérieures ou extérieures spécifiques pouvant être considérées comme typiques pour les prestations de l'élément de construction concerné. La résistance thermique totale d'un élément de construction est égale à l'inverse du coefficient de transmission thermique U de cet élément de construction (ou d'un de ses composants) entre deux ambiances.

Sol au-dessus du vide sanitaire

Plancher inférieur d'un bâtiment dont le côté inférieur est maintenu au-dessus de la terre et par lequel un espace intermédiaire, ventilé ou non est créé entre le plancher et la terre.

NOTE Le vide sanitaire, ventilé ou non, n'appartient pas au volume protégé d'un bâtiment.

Sol sur terre-plein

Plancher inférieur d'un bâtiment ayant un contact direct avec la terre sur toute sa superficie.

Superficie au sol

Superficie totale (projetée sur un plan horizontal) du plancher bas d'un VP, qui est en contact direct avec le sol ou au-dessus des espaces entourés entièrement ou partiellement par le sol.

Température extérieure de référence

La température de l'air de l'environnement extérieur lors d'un ciel complètement couvert.

Température intérieure de référence

Température résultante sèche dans un local ou une partie d'un bâtiment.

Température opérative

Moyenne arithmétique de la température d'air intérieur et de la température moyenne de radiation.

Valeur de calcul de la propriété thermique (λ_U ou R_U)

La valeur de calcul de la propriété thermique, λ_U ou R_U , d'un matériau ou produit de construction est déterminée sur la base de la valeur déclarée, tenant compte de l'application propre, en considérant le climat intérieur ou extérieur et caractérisée par sa température et son taux d'humidité.

NOTE Un matériau ou un produit peuvent avoir différentes valeurs de calcul selon l'application ou l'élément de construction dans lequel ils sont mis en œuvre.

Valeur (thermique) déclarée (λ_D ou R_D)

Valeur déclarée par le fabricant d'une propriété thermique (λ_D ou R_D) d'un matériau ou d'un produit de construction, obtenue sur la base de valeurs mesurées aux conditions de référence de température et d'humidité mentionnées dans cette norme, pour une fraction et un degré de fiabilité déterminés et correspondant à une durée de vie attendue acceptable dans des conditions normales. Pour les applications appropriées, cette norme détermine la valeur de calcul (λ_U ou R_U) sur la base de la valeur déclarée (λ_D ou R_D).

Valeur par défaut

Valeur pouvant toujours être acceptée sans preuve.

NOTE Une valeur mesurée ou calculée produira le plus souvent des résultats plus favorables.

Ventilation

Apport ou évacuation d'air voulu vers ou hors d'un local à conditionner.

Ventilation mécanique

Ventilation utilisant des composants motorisés.

Ventilation naturelle

Ventilation due aux différences de pression et sans l'aide de composants motorisés.

Vide sanitaire

Espace situé sous le plancher inférieur du bâtiment (ou d'une cave), ne servant pas à un usage courant.

NOTE Un vide sanitaire, ventilé ou non, n'appartient pas au volume protégé du bâtiment.

Volume protégé (VP)

Le volume protégé d'un bâtiment correspond au volume brut commun (suivant les dimensions extérieures) des espaces protégés thermiquement pour lesquels lors du chauffage (refroidissement) du bâtiment, un transfert thermique a lieu entre ces espaces et un ou plusieurs des environnements suivants:

- l'environnement extérieur (direct) ;
- la terre ou les espaces partiellement ou entièrement entourés de terre ;
- les espaces adjacents non chauffés (EANC) qui ne font pas partie d'un VP.

4.2 Symboles et unités

Symbole	Unité	Signification
A	m ²	aire
B'	m	dimension de sol caractéristique
C	m	compacité volumique
F	-	coefficient de conversion pour le vieillissement, la température et le taux d'humidité
G _w	-	facteur de correction (flux de la nappe phréatique)
H	W/K	coefficient de transfert de chaleur
L	W/mK	coefficient de couplage linéique
P	m	périmètre (parois en contact avec le sol)
Q	J of Wh	quantité de chaleur ou consommation énergétique
R	(m ² ·K)/W	résistance thermique d'un élément de construction
R _g	(m ² K)/W	résistance thermique d'une lame d'air dans la paroi
R _s	(m ² K)/W	résistance thermique d'une lame d'air entre les fenêtres
R _{si}	(m ² ·K)/W	résistance thermique d'échange à la surface intérieure
R _{se}	(m ² ·K)/W	résistance thermique d'échange à la surface extérieure
R _T	(m ² K)/W	résistance thermique totale d'une paroi
R _u	(m ² K)/W	résistance thermique d'un espace non chauffé
T	K	température absolue
U	W/(m ² ·K)	coefficient de transmission thermique
V	m ³	volume
\dot{V}	m ³ /h	débit de ventilation
a	-	terme correctif, facteur de réduction
b	m	largeur
b _u	-	facteur de réduction
c	J/kg·K	capacité calorifique spécifique
d	m	épaisseur (d'une couche d'un élément de construction), longueur (d'une fixation mécanique)
f	-	fraction, facteur
h	m	hauteur
l	m	périmètre, longueur
m	kg	poids massique
n	h ⁻¹	taux de ventilation
q	W/m ²	densité du flux thermique
q _v	m ³ /h	débit de ventilation
w	m	épaisseur de paroi
z	m	profondeur
α	°	angle ou pente
β	-	facteur de temps
ε _n	-	facteur d'émission normale d'un vitrage
λ	W/(m·K)	coefficient de transmission thermique d'un matériau de construction

NBN B 62-002 (2008)

Φ	W	flux thermique
ΔR	$(m^2K)/W$	résistance thermique complémentaire d'une lame d'air ventilée
$\Delta\theta$	K	différence de température
ΔU	$W/(m^2 \cdot K)$	terme correctif de la valeur U
χ	W/K	coefficient de transmission thermique ponctuel (pont thermique ponctuel)
Ψ	$W/(m \cdot K)$	coefficient de transmission thermique linéique (pont thermique linéaire)
θ	$^{\circ}C$	température
ρ	kg/m^3	densité, masse volumique

PARTIE 1

Performances thermiques des bâtiments.

Calcul des coefficients de transmission thermique (valeurs U) de composants et d'éléments de bâtiments

5. Détermination de la résistance thermique de couches de construction dans les éléments et/ou composants de bâtiment

5.1 Généralités

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 4) - Principes

Le principe général de la détermination de la résistance thermique (valeur R) des couches de construction dans un élément de bâtiment est le suivant:

- d'abord déterminer la résistance thermique de chaque couche homogène de construction de l'élément de bâtiment ;
- ensuite, faire la somme des résistances thermiques individuelles des couches de construction pour obtenir la résistance thermique totale de l'élément, y compris les résistances thermiques d'échange aux surfaces intérieures et extérieures de l'élément de bâtiment.

La résistance thermique des couches homogènes d'un élément de bâtiment est abordée dans le § 5.3 et les valeurs des résistances thermique d'échange (R_{si} et R_{se}) dans le § 5.2.

Les couches d'air présentes dans les éléments de bâtiment (par exemple un vide) sont, dans le cadre de cette norme, considérées comme des couches homogènes. Les valeurs de résistance thermique des couches d'air (délimitées par des surfaces à émission normale ou haute) sont données dans le § 5.4. Les espaces non chauffés peuvent également être considérés comme des couches d'air. Dans le § 5.5 des procédures simplifiées sont données pour déterminer la résistance thermique de tels espaces non chauffés. Les procédures pour la détermination de la résistance thermique des couches d'air ayant une forme particulière (e.a. les cavités) et pour les couches d'air qui sont délimitées par des surfaces ayant une émission basse (réfléchissante) sont données dans l'annexe B de la norme NBN EN ISO 6946.

La résistance thermique totale d'un élément de bâtiment (R_T) est déterminée selon le § 6.1 (paroi avec seulement des couches homogènes) ou dans le § 6.2 (paroi avec une ou plusieurs couches hétérogènes) et finalement, le coefficient de transmission thermique (valeur U) est déterminé selon le § 7.1.

La détermination de la valeur U spécifique des parois comprenant des couches inclinées est donnée dans l'annexe C de la norme NBN EN ISO 6946.

Finalement, d'éventuelles corrections des valeurs U calculées d'éléments de bâtiment isolés sont prévues afin de tenir compte de la mise en place spécifique des matériaux d'isolation tels que les coupures par fente d'air (voir 7.4.3), les perforations par des fixations mécaniques (voir 7.4.4) et les précipitations sur des toitures inversées (voir 7.4.5).

NOTE En cas de calcul des déperditions par transmission, la température opérative (approximativement égale à la moyenne arithmétique de la température de l'air intérieur et la température moyenne de radiation des parois environnantes) est considérée comme la température de l'environnement intérieur et la température de l'air est considérée comme température de l'environnement extérieur.

5.2 Résistances thermiques d'échange aux surfaces

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 5.2) – Résistance thermique d'échange aux surfaces

Pour les surfaces planes et en absence de toute information spécifique concernant les conditions de bord, les valeurs conventionnelles ou de conception des résistances thermiques d'échange R_{si} (à la surface intérieure) et R_{se} (à la surface extérieure) du Tableau 1 peuvent être utilisées. Ces valeurs sont admises pour les surfaces en contact avec l'air.

	Direction du flux de chaleur		
	ascendant (2)	horizontal (1)	descendant (2)
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04
(1) : valable pour une direction du flux de chaleur qui dévie de $\pm 30^\circ$ du plan horizontal (paroi placée avec un angle α par rapport à l'horizontale de sorte que : $90^\circ \geq \alpha \geq 60^\circ$) (2) : valable pour une direction du flux de chaleur qui dévie plus de 30° du plan horizontal (paroi placée avec un angle α par rapport à l'horizontale de sorte que : $60^\circ > \alpha \geq 0^\circ$)			

Tableau 1 – Résistances thermiques d'échange R_{si} et R_{se} (en m^2K/W)

NOTE 1 Pour déterminer la valeur U déclarée ou les cas où la direction du flux de chaleur n'est pas déterminée ou peut changer, il faut adopter les valeurs d'un flux de chaleur horizontal.

NOTE 2 L'annexe A de la norme NBN EN ISO 6946 contient les procédures détaillées pour les cas spéciaux (les valeurs R_{si} et R_{se} pour les surfaces avec une émission basse, pour des vitesses du vent spécifiques et pour des surfaces non planes).

5.3 Résistance thermique des couches homogènes d'un élément de bâtiment

5.3.1 Généralités

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 5.1) – Résistance thermique des couches homogènes d'un élément de bâtiment

La détermination de la valeur de calcul de la conductivité thermique (valeur λ_U) ou de la résistance thermique des matériaux de construction (valeur R_U) est réalisée selon la procédure expliquée à 5.3.2.

Lorsque la conductivité thermique d'un matériau de construction est connue, la valeur de calcul de la résistance thermique (R_U) peut alors être déterminée selon:

$$R_U = \frac{d}{\lambda_U} \quad m^2K/W \quad (1)$$

où :

- d (m) = épaisseur du matériau
- λ_U (W/mK) = valeur de calcul de la conductivité thermique du matériau.

5.3.2 Détermination de la conductivité thermique d'un matériau

On utilise, comme valeur de calcul de la conductivité thermique, la valeur qui tient compte à la fois de la température et de la teneur en humidité prévisibles dans le matériau. On définit ainsi, en fonction des conditions intérieures ou extérieures, les valeurs de calcul suivantes:

- La valeur λ_{Ui} correspond aux conditions intérieures et doit être utilisée pour les matériaux dans des parois intérieures et extérieures, pour autant que ces matériaux ne puissent être humidifiés ni par la pénétration d'eau de pluie, ni par une condensation interne ou superficielle permanente, ni par l'humidité ascensionnelle. La valeur λ_{Ui} ne peut être utilisée pour les matériaux incorporés de manière étanche à la vapeur d'eau et susceptibles de contenir de l'humidité (p. ex. eau de construction ou eau pluviale).
- La valeur λ_{Ue} correspond aux conditions extérieures et doit être utilisée pour tous les matériaux dans des parois extérieures qui peuvent être humidifiés par la pluie, par la condensation interne ou superficielle permanente ou par l'humidité ascensionnelle. C'est également valable pour les parois

extérieures pourvues d'un enduit extérieur, à moins que l'on puisse démontrer que cet enduit est suffisamment durable et imperméable. La valeur λ_{Ue} doit également s'utiliser pour les matériaux incorporés de manière étanche à la vapeur d'eau alors qu'ils sont mouillés au moment de la mise en œuvre.

Pour les produits d'isolation et les produits dont la valeur λ est une caractéristique importante, on détermine les valeurs de calcul λ_{Ui} et λ_{Ue} sur la base de la valeur λ_D déclarée du produit spécifique, convertie pour tenir compte des conditions d'humidité dans lesquelles le matériau et/ou le produit est utilisé.

Pour les produits de construction qui ne disposent pas d'une valeur λ_D déclarée, les valeurs de calcul données dans les tableaux de l'annexe A, doivent être utilisées.

La **valeur λ_D déclarée** est définie selon les principes mentionnés dans la norme NBN EN ISO 10456 et pour laquelle les conditions suivantes sont d'application:

- valeurs mesurées dans des conditions données de température et d'humidité de référence, déterminées dans cette norme à 10°C et mesurées selon les méthodes de mesurage des NBN EN 1934, NBN EN ISO 8990, NBN EN 12664, NBN EN 12667, NBN EN 12939 (ISO 8301, ISO 8302) ;
- un fractile d'ordre avec un niveau de fiabilité fixé dans cette norme à 90/90 (autrement dit avec une fiabilité de 90% il est supposé que 90% de la production a une valeur λ qui est plus petite ou égale à la valeur déclarée) ;
- correspondant à une durée de vie raisonnable dans des circonstances normales. Dans ce cas, l'échantillon préalable au mesurage sera conditionné comme il est indiqué dans les spécifications techniques correspondantes.

Les valeurs déclarées λ_D ou R_D , calculées en tenant compte des valeurs susmentionnées, sont déclarées par le fabricant sur la base de la norme de produit (NBN EN) ou d'une ETA (Approbation technique européenne), pour autant qu'elles soient disponibles et publiées. A défaut de ces documents, ces valeurs peuvent être empruntées des déclarations de qualité volontaires délivrées par l'UBAtc (ATG), Benor (sur la base d'une NBN ou d'un PTV) ou équivalent.

La **valeur de calcul de la conductivité thermique (λ_U)** est dérivée de la valeur déclarée (λ_D) en adoptant les conditions suivantes :

- λ_{Ui} (ou R_{Ui}) = application intérieure: basée sur les valeurs λ_D mesurées par 10°C, U_{dry} et converties vers des conditions d'utilisation $U_{23,50}$ (taux d'humidité d'équilibre à 23°C et humidité relative de 50%) ; la conversion est calculée avec la formule $\lambda_U = \lambda_D * e^{f_u(u_2-u_1)}$ ou $\lambda_U = \lambda_D * e^{f_\psi(\psi_2-\psi_1)}$ tel qu'il est indiqué dans la norme NBN EN ISO 10456 et des valeurs f_u , u_1 , u_2 (en kg/kg) ou les valeurs f_ψ , ψ_1 , ψ_2 (en m³/m³) tel qu'il est mentionné dans la norme NBN EN ISO 10456.
- λ_{Ue} (ou R_{Ue}) = application extérieure: basée sur les valeurs λ_D mesurées par 10°C, U_{dry} et converties vers des conditions d'utilisation U correspondant à 75% du chiffre critique de saturation à 20°C, pour la conversion, le calcul est réalisé au moyen de la formule $\lambda_U = \lambda_D * e^{f_u(u_2-u_1)}$ ou $\lambda_U = \lambda_D * e^{f_\psi(\psi_2-\psi_1)}$ tel qu'il est mentionné dans la norme NBN EN ISO 10456 (pour les matériaux ligneux).

Les taux d'humidité (u et ψ) et les valeurs de conversion (f_u et f_ψ) pour les matériaux pierreux sont repris dans le tableau C.1 (Annexe C).

Les valeurs de calcul λ_U ou R_U sont calculées à condition de tenir compte des conditions susmentionnées. Dans l'annexe A de cette norme, les valeurs de calcul des divers matériaux sont mentionnées à titre indicatif. Les valeurs λ_U ou R_U peuvent aussi être empruntées des déclarations de qualité volontaires publiées par le l'UBAtc (ATG), un organisme de certification BENOR, ou équivalent.

NBN B 62-002 (2008)

NOTE 1 Pour les valeurs λ_D ou R_D déclarées par les fabricants, les règles suivantes sont d'application en ce qui concerne les arrondis :

Pour la valeur λ_D déclarée :

- si $\lambda_D \leq 0,08$: arrondir à l'unité supérieure jusqu'au plus proche 0,001 W/mK
- si $0,08 < \lambda_D \leq 0,20$: arrondir à l'unité supérieure jusqu'au plus proche 0,005 W/mK
- si $0,20 < \lambda_D \leq 2,00$: arrondir à l'unité supérieure jusqu'au plus proche 0,01 W/mK
- si $2,00 < \lambda_D$: arrondir à l'unité supérieure jusqu'au plus proche 0,1 W/mK

Pour la valeur R_D déclarée il faut arrondir à l'unité inférieure jusqu'aux deux décimales.

Pour toutes les valeurs de calcul (λ_U ou R_U), dérivées des valeurs déclarées, les mêmes règles sont valables en ce qui concerne les arrondis.

NOTE 2 Pour les couches maçonnées (blocs de construction avec joints de mortier), il faut tenir compte de l'influence de la conductivité thermique du mortier laquelle ne peut être négligée, surtout s'il s'agit de blocs de construction légers. En ce qui concerne de telles couches de construction maçonnées, une valeur λ_U (ou valeur R_U) moyenne pondérée par les surfaces doit être calculée (voir annexe J), laquelle peut servir ultérieurement pour la détermination de la valeur inférieure de la résistance thermique totale de l'élément de construction (voir méthode à 6.2). D'autres conventions relatives à la maçonnerie sont données à 6.2.4.

NOTE 3 Pour la maçonnerie constituée **d'éléments perforés**, les valeurs λ_U des éléments de construction perforés sont empruntées aux valeurs tabulaires en vigueur pour les briques/blocs plein(e)s où la masse volumique des briques/blocs perforé(e)s est prise en considération. Un exemple de calcul de la détermination de la valeur λ_U d'un bloc de construction perforé est exposé dans l'annexe J.

NOTE 4 L'influence du **treillis d'armature** habituel sur les valeurs λ_U peut être négligée.

NOTE 5 Les valeurs λ_{Ui} et λ_{Ue} mentionnées dans les tableaux de l'annexe A peuvent être admises pour des températures de matériaux situées entre -10°C et $+30^\circ\text{C}$. Pour des applications hors de cette plage, les facteurs de conversion F_M (humidité) et F_T (température), tels que stipulés dans la norme NBN EN ISO 10456 (applications -30°C et $+60^\circ\text{C}$) ou autre documents de référence, seront respectés.

5.3.3 Cas spécifiques

5.3.3.1 Isolation en PUR projetée in situ

Isolation PUR projetée in situ: en raison de la difficulté de déterminer une épaisseur exacte, la résistance thermique R_{PUR} d'une couche d'isolation en PUR projetée est calculée comme suit:

$$R_{PUR} = a \cdot \left(\frac{d_{PUR}}{\lambda_{Ui,PUR}} \right) \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (2)$$

où:

- R_{PUR} ($\text{m}^2\text{K/W}$): résistance thermique corrigée de l'isolation PUR projetée in situ ;
- d_{PUR} (m): épaisseur de la couche d'isolation PUR projetée ;
- $\lambda_{Ui,PUR}$ (W/mK): conductivité thermique (valeur de calcul) de l'isolation PUR, déterminée selon le § 5.3.2 ou le tableau A.14b de l'annexe A ;
- a (-): terme correctif, égal à:
 - $a = 0,85$ pour les matériaux d'isolation PUR projetés sans spécification de produit (toutes applications) ;
 - $a = 0,85$ pour les matériaux d'isolation PUR projetés avec spécification de produit (application pour toiture) ;
 - $a = 0,925$ pour les matériaux d'isolation PUR projetés avec spécification de produit (application pour sol).

5.3.3.2 Isolation de toiture inversée avec l'isolant XPS

Afin de tenir compte de l'absorption d'humidité dans les panneaux XPS mis en place dans une toiture inversée, une correction de la valeur de calcul de la résistance thermique de la couche d'isolation XPS est pratiquée. Ce procédé de calcul est expliqué au point 7.4.5.2.

5.4 Résistance thermique des couches d'air dans les éléments ou composants de bâtiment

5.4.1 Aperçu général

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 5.3) – Résistance thermique des couches d'air.

Type et caractéristiques de la couche d'air				Détermination de la résistance thermique de la couche d'air			
Type	Épaisseur (1)	Géométrie (L=longueur) (b=largeur)	Ventilation	Simplifiée		Précise	
				Valeur R	Référence	Valeur R	Référence
Couches d'air dans les murs, toitures, sols	d ≤ 300 mm	d/L ≤ 0,1 et d/b ≤ 0,1	aucune	R _g	§ 5.4.3.2 Tableau 3	R _g (2)	EN ISO 6946 Annexe B.2
			peu	R _g	§ 5.4.3.3	R _g (2)	EN ISO 6946 Annexe B.3
			forte	R _g = 0	§ 5.4.3.4	R _g = 0	EN ISO 6946 Annexe B.3
Creux et vides tubulaires	d ≤ 300 mm	d/L > 0,1 et/ou d/b > 0,1	aucune	R _g	§ 5.4.2.1	R _g (2)	EN ISO 6946 Annexe B.4
Perforations dans la brique de maçonnerie	d ≤ 300 mm	-	aucune	λ _{Ueq} (selon % des perforations)	§ 5.4.2.2 § 6.3	R (bloc ou plaque)	EN 8990 (test) ou EN 10211 (calcul)
Lames d'air dans les briques creuses et dalles de sol	d ≤ 300 mm	-	aucune	R (bloc ou plaque)	§ 5.4.2.3 Tableau B.1 (annexe B)	R (bloc ou plaque)	EN 8990 (test) ou EN 10211 (calcul)
Creux ou espaces d'air dans les profilés d'encadrement	d ≤ 300 mm	toutes les géométries	aucune	-	§ 5.4.2.4	R _s	EN ISO 10077-2 (§ 6.3)
			peu	-		R _s	EN ISO 10077-2 (§ 6.4)
			forte	-		R _s	EN ISO 10077-2 (§ 6.4)
Lames d'air dans les vitrages	6 ≤ d ≤ 15 mm	-	aucune	R _s (2), (3)	§ 8.3.2.2 Tableau 10	R _s (2) (3)	EN 673
Couches d'air en cas de doubles fenêtres et fenêtres à vantaux dédoublés	50 ≤ d ≤ 300 mm	-	aucune	R _s (2)	§ 9.3.2.1 Tableau 11	-	-
Lames d'air entre les fenêtres et les volets	d ≤ 300 mm	-	possible	ΔR (volets)	§ 9.4.2 Tableau 12	ΔR (volets et persiennes)	EN 13125
Trous d'air et fentes dans ou entre les couches d'isolant	d ≤ 300 mm	d/L > 0,1 et d/b < 0,1 ou d/L < 0,1 et d/b > 0,1	flux convectif possible	majoration de la valeur U ΔU _g	§ 7.4.3	-	-

(1) épaisseur mesurée dans le sens du flux thermique ; s'il s'agit d'une épaisseur variable, la valeur moyenne doit être prise
 (2) avec détermination des valeurs R_g ou R_s pour les lames d'air délimitées par des surfaces à basse émissivité
 (3) pour les vitrages, il s'agit généralement de la valeur centrale U_g déclarée par le fabricant, dans laquelle la résistance thermique R_s de la lame d'air ou de gaz est comprise.

Tableau 2 – Aperçu général de la détermination de la résistance thermique des couches d'air ayant une épaisseur inférieure à 300 mm

La résistance thermique d'une couche d'air est dépendante du type de couche d'air, de la direction du flux thermique à travers la couche d'air, de l'épaisseur, de la géométrie et de la pente de la couche d'air, de l'émissivité des surfaces délimitantes et des possibilités de ventilation de la couche d'air. Suivant le cas, la résistance thermique de la couche d'air peut être déterminée avec précision par des essais ou des calculs, ou des valeurs par défaut peuvent être sélectionnées des tableaux.

Dans certains cas, la résistance thermique de la couche d'air n'est pas calculée séparément mais est déjà comprise dans la valeur U de l'élément de bâtiment dans lequel la lame d'air se trouve (par exemple les briques perforées, les blocs creux, les vitrages, les profilés d'encadrement,...) ou l'effet de la lame d'air est déterminé comme une correction de la valeur U de l'élément de construction (par exemple les lames d'air entre les plaques d'isolation).

Le Tableau 2 présente un aperçu général des méthodes pour déterminer la résistance thermique des couches d'air dont l'épaisseur (mesurée dans la direction du flux thermique) n'excède pas 300 mm. Dans ce tableau sont mentionnés successivement:

- le type de couche d'air ;
- l'épaisseur de la couche d'air pour laquelle la détermination est valable ;
- la géométrie, c'est-à-dire le rapport entre l'épaisseur et les deux autres dimensions caractéristiques de la couche d'air, notamment L (la longueur) et b (la largeur ou hauteur)
- les possibilités de ventilation de la couche d'air ;
- la méthode simplifiée et précise de détermination de la résistance thermique et la référence correspondante (paragraphe, tableau, norme, ...) où la méthode est expliquée.

NOTE Les couches d'air ayant une épaisseur supérieure à 300 mm sont, en principe, traitées comme espace non chauffé. Concernant ces espaces, une résistance thermique peut aussi être déterminée sous certaines conditions ; ceci est expliqué à 5.5.

5.4.2 Creux dans les produits de construction et lames ou espaces d'air dans un composant d'un élément de bâtiment

5.4.2.1 Creux ou vides

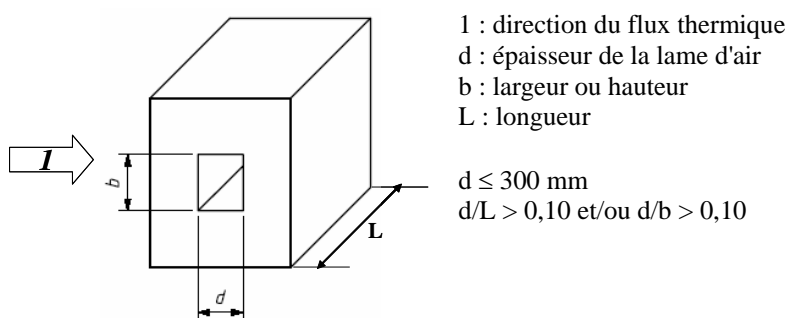


Figure 1 – Creux tubulaires

Dans l'annexe B.4 de la norme NBN EN ISO 6946 l'on trouve le calcul de la résistance thermique de petites lames d'air tubulaires non ventilées (creux, vides). Dans le cas de ces lames d'air, le rapport entre l'épaisseur et la longueur (ou largeur) est supérieur à 0,1. La Figure 1 illustre une telle lame d'air.

5.4.2.2 Perforations dans les briques de maçonnerie

Une méthode de calcul simplifiée peut être appliquée pour les briques perforées, qui consiste à calculer, en fonction de la masse volumique de la matière (brique pleine) ou du matériau composant et du pourcentage de perforations, une valeur équivalente λ_U ou R_U pour la brique entière (voir 6.3)

La résistance thermique de chaque lame d'air (perforation) dans une brique perforée peut être calculée avec précision en fonction de sa géométrie selon la méthode de calcul montrée dans l'annexe B.4 de NBN

EN ISO 6946. Pour la brique entière un calcul numérique est effectué selon la norme NBN EN ISO 10211 ou la valeur R de la brique de maçonnerie résulte des résultats d'essais selon la norme NBN EN 8990.

5.4.2.3 Parties creuses dans les blocs de béton et dalles de sol et autres éléments creux de bâtiment non-homogènes

Pour la maçonnerie en blocs de béton creux, les dalles de sols présentant des parties creuses et pour les autres éléments de bâtiment creux non-homogènes, des valeurs R simplifiées sont attribuées dans le Tableau B.1 de l'annexe B, en fonction de l'épaisseur de l'élément de construction. Ces valeurs R concernent l'élément entier, dans lequel la résistance thermique de la partie creuse est comprise. Une détermination précise de la valeur R résulte de mesurages selon la norme NBN EN 8990 ou de calculs numériques selon la norme NBN EN ISO 10211.

5.4.2.4 Creux ou espaces d'air dans les profilés d'encadrement

Les creux ou espaces d'air dans les profilés d'encadrement peuvent présenter des géométries très variées et peuvent en outre être faiblement, fortement ou non ventilés. Pour tous les cas qui se présentent, la norme NBN EN ISO 10077-2 mentionne toutes les conditions de bord pour déterminer la résistance thermique des creux dans les profilés d'encadrement sur la base de calculs numériques.

5.4.2.5 Lames d'air dans les vitrages, entre les doubles fenêtres ou les fenêtres à vantaux dédoublés

Les calculs détaillés de la résistance thermique des lames remplies d'air ou de gaz des vitrages multiples sont donnés dans la norme NBN EN 673. Ces calculs tiennent également compte des feuilles de verre pourvues de couches à basse émissivité.

Des valeurs par défaut de la résistance thermique des lames d'air non ventilées dans des doubles vitrages ayant des épaisseurs comprises entre 6 et 15 mm sont données dans le Tableau 10 (voir 8.3.2.2). Pour les divers types de vitrage mêmes, les valeurs U_g (la zone centrale, calculée selon la norme NBN EN 673) sont données dans l'annexe E. La résistance thermique de la lame d'air ou de gaz est comprise dans ces valeurs U_g .

Dans le § 9.3.2.1 (doubles fenêtres) et 9.3.2.2 (fenêtres à vantaux dédoublés), sont traitées les couches d'air qui apparaissent dans ces fenêtres dédoublées. Les valeurs par défaut sont données dans le Tableau 11 (voir 9.3.2.1) pour les couches d'air dont l'épaisseur se situe entre 50 et 300 mm.

5.4.2.6 Couches d'air entre fenêtres et volets

Les couches d'air comprises entre les fenêtres et les volets (fermés) constituent une résistance thermique supplémentaire qui dépend de l'étanchéité de l'espace d'air enfermé et de la perméabilité à l'air du volet lui-même. Les valeurs par défaut sont données dans le Tableau 12 (voir 9.4.2). La norme NBN EN 13125 donne une information plus détaillée sur d'autres types de volets, tels les stores posés à l'extérieur ou à l'intérieur de la fenêtre ou se trouvant entre les feuillettes de verre d'un vitrage multiple.

NOTE Il est à noter que les couches d'air entre les fenêtres et les volets (fermés) ne peuvent en principe pas être en contact avec les couches d'air des autres éléments de construction tels par exemple le vide d'un mur creux. Les caisses de volets qui se trouvent en contact ouvert avec un tel vide provoquent conventionnellement une ventilation modérée du vide, à moins qu'une fermeture étanche ne soit prévue.

5.4.2.7 Trous d'air et fentes

Des trous et fentes d'air résultant d'une mauvaise mise en œuvre ou d'une mauvaise qualité peuvent se produire entre les couches d'isolation, perturbant le flux thermique à travers la couche d'isolation et pouvant créer des courants d'air convectifs du côté chaud de la couche d'isolation. L'effet de tels trous ou fentes d'air est chiffré par une majoration sur la valeur U de l'élément de paroi total (voir 7.4.3).

NOTE Si à la hauteur des raccordements entre les différents éléments de construction il n'y pas de trous ou fentes d'air importants qui sont en contact avec une couche d'air dans ces éléments de construction (p.ex. un vide), cette couche d'air peut alors être fortement ventilée et l'influence sur la résistance thermique totale doit être déterminée selon le § 5.4.3.4.

5.4.3 Résistance thermique d'une couche d'air (épaisseur < 300 mm) dans les éléments de bâtiment

5.4.3.1 Conditions

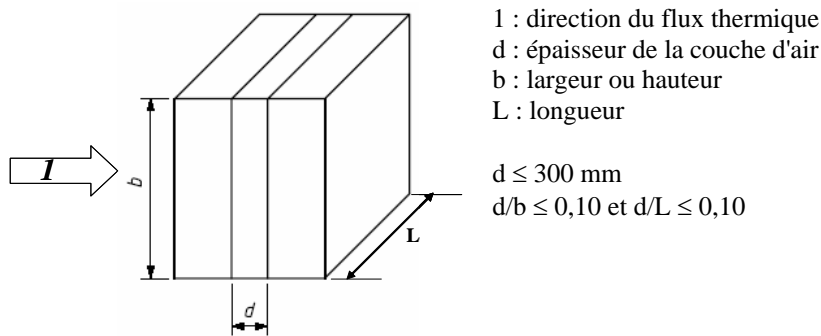


Figure 2 – Couche d'air ordinaire

Les valeurs de la résistance thermique des couches d'air développées dans le § 5.4.3 sont applicables aux couches d'air qui répondent en même temps aux conditions suivantes (voir Figure 2) :

- être délimitées par deux faces parallèles qui sont perpendiculaires au flux thermique et dont les surfaces ont une émissivité élevée (pas plus basse que 0,8, c.à.d. non réfléchissant, la plupart des matériaux de construction répondent à cette dernière exigence) ;
- avoir une épaisseur (mesurée dans la direction du flux thermique) qui ne dépasse pas 300 mm ;
- dont le rapport entre l'épaisseur et la longueur (d/L) et le rapport entre l'épaisseur à la largeur (d/b) sont inférieurs ou égaux à 0,1 ;
- n'avoir aucune possibilité d'échanges d'air avec l'environnement intérieur.

La détermination précise de la résistance thermique est donnée dans les annexes B.2 et B.3 de la norme NBN EN ISO 6946. Dans ces annexes, on traite également des parois dans lesquelles se présentent des couches d'air délimitées par des surfaces à émissivité faible (réfléchissantes) et plus précisément de l'effet résultant sur la résistance thermique totale de la paroi.

Les valeurs de calculs de la résistance thermique des couches d'air sont données dans le § 5.4.3.2 (couches d'air non ventilées, cas ordinaires avec des surfaces à haute émissivité) et dans le § 5.4.3.3 (idem, mais avec des couches d'air moyennement ventilées). Dans le § 5.4.3.4 la procédure de calcul pour les couches d'air fortement ventilées est donnée.

NOTE Les couches d'air qui ne sont pas hermétiquement isolées de l'environnement intérieur sont considérées comme faisant partie de l'environnement intérieur chauffé avec lequel elles sont en liaison à travers les ouvertures, les fentes ou les joints. La résistance thermique des éléments de bâtiment entre ces couches d'air de l'environnement intérieur n'est toutefois pas prise en considération.

5.4.3.2 Couches d'air non ventilées

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 5.3.2) – Couches d'air non ventilées

Une couche d'air non ventilée est une couche d'air dans laquelle il n'y pas de flux d'air. Sont également considérées comme non ventilées, les parois dans lesquelles la couche d'air présente est en contact avec l'environnement extérieur par le biais de petites ouvertures, pour autant que:

- les ouvertures sont mises en place de telle façon à ce qu'il n'y ait pas de possibilité de flux d'air à travers la couche d'air ;
- la superficie totale des ouvertures ne soit pas supérieure à 500 mm² par mètre de longueur (couches d'air verticales) ou 500 mm² par m² de couche d'air (couches d'air horizontales).

NOTE Les orifices de drainage dans le mur extérieur d'un mur creux satisfont généralement à ces conditions.

Les résistances thermiques des couches d'air ordinaires non ventilées, délimitées par des surfaces à émissivité élevée sont données dans le Tableau 3 en fonction de l'épaisseur de la couche d'air et de la direction du flux thermique.

Épaisseur de la couche d'air (mm)	Direction du flux thermique		
	ascendant	horizontal (1)	descendant
0 ≤ d < 5	0,00	0,00	0,00
5 ≤ d < 7	0,11	0,11	0,11
7 ≤ d < 10	0,13	0,13	0,13
10 ≤ d < 15	0,15	0,15	0,15
15 ≤ d < 25	0,16	0,17	0,17
25 ≤ d < 50	0,16	0,18	0,19
50 ≤ d < 100	0,16	0,18	0,21
100 ≤ d < 300	0,16	0,18	0,22
300 ≤ d	0,16	0,18	0,23
(1) pour flux thermique qui dévie ± 30° du plan horizontal			

Tableau 3 – Résistance thermique R_g (en m²K/W) de couches d'air non ventilées délimitées par des surfaces à émissivité élevée (cas ordinaires)

5.4.3.3 Couches d'air peu ventilées

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 5.3.3) – Couches d'air peu ventilées

Une couche d'air peu ventilée correspond à une couche d'air dans laquelle un flux d'air limité venant de l'environnement extérieur est possible via des ouvertures de ventilation dont la superficie totale A_v (m²) satisfait aux conditions suivantes:

- couches d'air verticales : 500 < A_v < 1500 mm² par m courant de couche d'air (mesuré horizontalement) ;
- couches d'air horizontales : 500 < A_v < 1500 mm² par m² de couche d'air.

L'effet de ventilation dépend de l'aire et de la répartition des orifices de ventilation. Approximativement la résistance thermique totale (R_T) d'une couche d'air peu ventilée peut être calculée comme suit :

$$R_T = \frac{1500 - A_v}{1000} \cdot R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} \cdot R_{T,v} \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (3)$$

où :

- $R_{T,u}$ (m²K/W) : résistance thermique totale d'une couche d'air non-ventilée, déterminée comme dans le § 5.4.3.2 ;
- $R_{T,v}$ (m²K/W) : résistance thermique totale d'une couche d'air fortement ventilée, déterminée comme dans le § 5.4.3.4.

NOTE Si aucune information est connue en ce qui concerne l'aire réelle des orifices de ventilation, la résistance thermique d'une couche d'air peu ventilée peut être prise égale à la moitié des valeurs correspondantes dans le Tableau 3 (seulement valable pour des surfaces à émissivité élevée). Si,

en plus, la résistance thermique globale des couches d'un élément de bâtiment (de surface à surface) entre la couche d'air et l'environnement extérieur est supérieure à 0,15 m²·K/W, cette résistance thermique restera alors limitée à cette valeur (0,15 m²·K/W).

5.4.3.4 Couches d'air fortement ventilées

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 5.3.4) – Couches d'air fortement ventilées

Une couche d'air fortement ventilée correspond à une couche d'air dans laquelle un flux d'air considérable venant de l'environnement extérieur est possible via des ouvertures de ventilation dont la superficie totale A_v (m²) satisfait aux conditions suivantes:

- couches d'air verticales : $A_v \geq 1500$ mm² par m courant de couche d'air ;
- couches d'air horizontales : $A_v \geq 1500$ mm² par m² de couche d'air.

La résistance thermique globale d'un élément de construction pourvu d'une couche d'air fortement ventilée est calculée en négligeant la résistance thermique totale de la couche d'air et de tous les couches de l'élément se trouvant entre la couche d'air et l'environnement extérieur et où la valeur R_{se} est valable pour de l'air à l'arrêt, c.à.d. peut être remplacée par R_{si} .

NOTE En cas de murs creux mal achevés et dans les constructions de toiture, les inétanchéités peuvent également donner lieu à des couches d'air fortement ventilées où l'air humide peut mener, à côté des pertes de chaleur, à un risque accru de condensation superficielle.

5.5 Résistance thermique d'espaces d'air non chauffés à l'intérieur du volume protégé

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 5.4) – Résistance thermique d'espaces d'air non chauffés

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 5.4.3) – Autres espaces

Pour les bâtiments à espaces (locaux) utilisables non chauffés, situés à l'intérieur du volume protégé du bâtiment et avoisinant à l'environnement extérieur (tels garage, entrepôt, débarras), la transmission thermique entre les locaux chauffés (refroidis) du volume protégé et l'environnement extérieur via ces espaces non chauffés, peut être obtenue en considérant l'espace non chauffé et ses parois extérieures comme un espace d'air homogène additionnel avec résistance thermique R_u . Si toutes les valeurs U des parois entre les locaux chauffés et l'espace non chauffé sont identiques, cette résistance thermique R_u est calculée par:

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e,k} \cdot U_{e,k}) + 0,33 \cdot n_{ue} \cdot V_u} \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (4)$$

où:

- A_i (m²): aire totale de toutes les parois entre l'environnement intérieur (chauffé) et l'espace non chauffé concerné ;
- $A_{e,k}$ (m²): aire de la paroi k entre l'espace non chauffé et l'environnement extérieur ;
- $U_{e,k}$ (W/m²K): la valeur U de la paroi k correspondante ;
- n_{ue} (h⁻¹): le taux de ventilation du local non chauffé selon le Tableau 4 ;
- V_u (m³): le volume d'air de l'espace non chauffé ;

Type	Description de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure de l'espace non chauffé	n_{ue} (h^{-1})
1	Absence de portes ou de fenêtres, tous les raccordements entre éléments de construction étanches, absence d'ouvertures de ventilation	0,1
2	Tous les raccordements entre éléments de construction étanches, absence d'ouvertures de ventilation	0,5
3	Tous les raccordements entre éléments de construction étanches, petites ouvertures de ventilation prévues	1
4	Pas d'étanchéité en raison d'inétanchéités locales ou d'ouvertures de ventilation permanentes	3
5	Pas d'étanchéité en raison d'inétanchéités nombreuses ou de grandes ou nombreuses ouvertures de ventilation	10

Tableau 4 – Taux de ventilation conventionnel entre l'espace non chauffé et l'environnement extérieur

Si la composition exacte des parois extérieures de l'espace non chauffé n'est pas connue, on peut accepter de manière simplifiée que $U_{e,k} = 2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ et que le taux de ventilation $n_{ue} = 3 \text{ h}^{-1}$. Dans ce cas, l'équation (3) est réduite à l'expression suivante :

$$R_u = \frac{A_i}{2 \cdot \sum_k A_{e,k} + V_u} \quad \text{m}^2\text{K}/\text{W} \quad (5)$$

NOTE 1 Si plusieurs parois se trouvent entre l'environnement intérieur et l'espace non chauffé, R_u doit être compris dans le calcul de la valeur U de chaque paroi.

NOTE 2 L'équation (3) est basée sur la procédure de calcul tirée de la norme NBN EN ISO 13789 pour le calcul du transfert de chaleur via des espaces adjacents non chauffés (voir 17).

6. Détermination de la résistance thermique totale des éléments de bâtiment

6.1 Eléments de bâtiment constitués de couches homogènes

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 6.1) – Résistance thermique totale d'éléments de bâtiment constitués de couches homogènes.

La résistance thermique totale R_T (d'environnement à environnement) d'un élément de bâtiment plan, constitué de couches de construction thermiquement homogènes qui sont perpendiculaires au flux thermique, est calculée comme suit:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (6)$$

où:

- R_{si} (m²K/W): la résistance thermique d'échange à la surface intérieure ;
- R_1, R_2, \dots, R_n (m²K/W): les valeurs de calcul des résistances thermiques de chaque couche de construction homogène dans l'élément de construction ;
- R_{se} (m²K/W): la résistance thermique d'échange à la surface extérieure.

NOTE 1 Les valeurs R_T sont calculées en calculs intermédiaires jusqu'à au moins 3 décimales. Si R_T est présenté comme résultat final, il doit être arrondi à 2 décimales.

NOTE 2 L'équation (6) s'applique aux parois extérieures. Dans le cas de parois intérieures, R_{se} est remplacé dans l'équation (6) par R_{si} . Si la résistance thermique totale (de surface à surface) doit être calculée, les deux valeurs de R_s disparaissent dans l'équation (6).

NOTE 3 L'aire d'un élément de bâtiment non plan correspond à l'aire transformée en élément de bâtiment plan, ayant la même aire projetée. Il est tenu compte des dimensions extérieures de l'élément de bâtiment non plan.

6.2 Eléments de bâtiment constitués de couches homogènes et non homogènes

6.2.1 Applicabilité

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 6.2.1) - Applicabilité

Une méthode de calcul simplifiée pour calculer la résistance thermique des éléments de bâtiment, constitués de couches de construction thermiquement homogènes et non homogènes est donnée dans les paragraphes suivants. Cette méthode simplifiée ne peut pas être appliquée dans les cas des éléments de construction qui présentent des ponts thermiques importants (voir 12) où dans le cas de couches d'isolation thermiques qui sont perforées par des fixations métalliques (voir 7.4.4).

6.2.2 Résistance thermique totale d'un élément de bâtiment

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 6.2.2) – Résistance thermique totale d'un élément de bâtiment

La résistance thermique totale R_T d'un élément de bâtiment, constitué de couches thermiquement homogènes et non homogènes qui sont parallèles à la surface de la paroi, est déterminé en tant que la moyenne arithmétique des limites supérieures et inférieures de la résistance thermique :

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (7)$$

où:

- R'_T (m²K/W): la limite supérieure de la résistance thermique, calculée selon l'équation (7)
- R''_T (m²K/W): la limite inférieure de la résistance thermique, calculée selon l'équation (9)

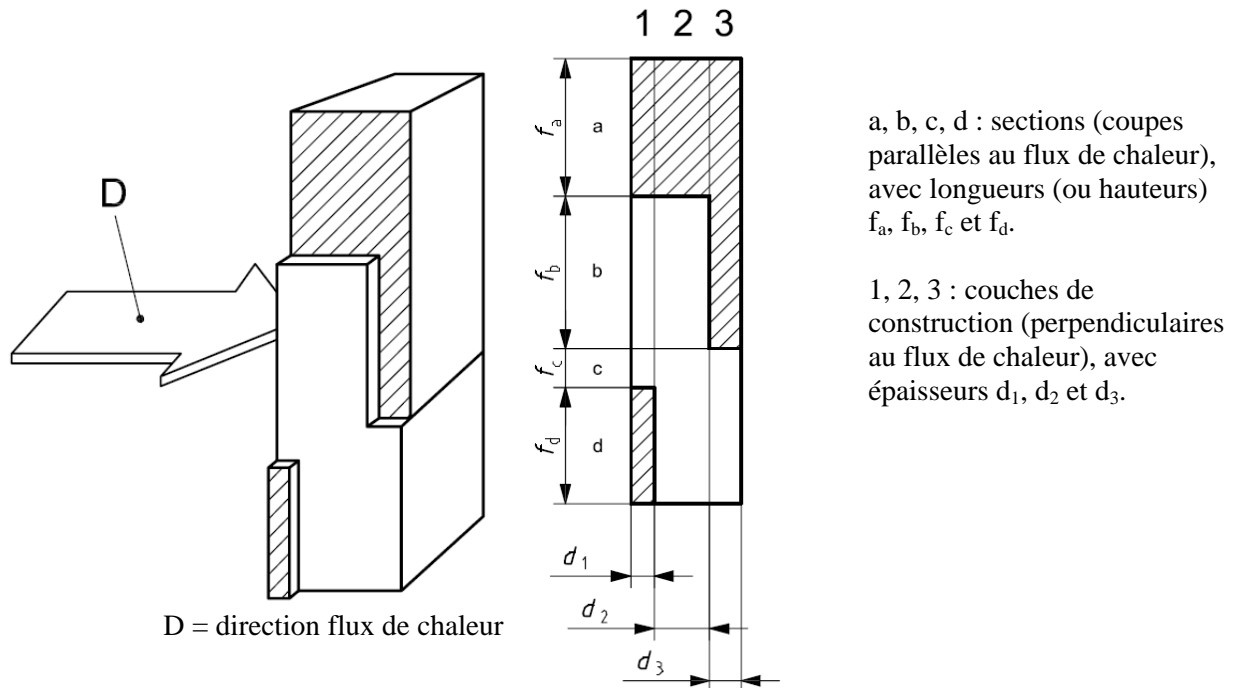


Figure 3 – Sections et couches d'un élément de bâtiment thermiquement non homogène

Le calcul des limites supérieures et inférieures est réalisé en découpant l'élément en sections et en couches de telle façon que l'élément soit décomposé en parties elles-mêmes thermiquement homogènes (voir Figure 3).

- l'élément de bâtiment est découpé en sections (a, b, c, et d) avec des aires respectives (A_a , A_b , A_c et A_d) et en couches (1, 2 et 3), ayant des épaisseurs respectives (d_1 , d_2 et d_3);
- les sections (a, b, c, d), perpendiculaires aux faces de l'élément de construction, représentent chacune séparément une partie d'aire (f_a , f_b , f_c , f_d) par rapport à l'aire totale;
- les couches (1, 2, 3), parallèles aux surfaces de l'élément de construction, ont une épaisseur d_1 , d_2 et d_3 ;
- toutes les parties thermiquement homogènes ($a_1 \dots d_3$) ont une conductivité thermique bien définie (λ_{a1} , ... λ_{d3}), une épaisseur déterminée (d_1 , ... d_3), une aire partielle (f_a , ... f_d) et une résistance thermique (R_{a1} , ... R_{d3});
- l'aire partielle d'une section est une fraction proportionnelle de l'aire totale, si bien que $f_a + f_b + \dots + f_d = I$.

NOTE La détermination de R_T suivant (7) n'est pas valable si $R'_T/R''_T > 1,5$.

6.2.3 Valeurs limites

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 6.2.3 et § 6.2.4) – Limites supérieures et inférieures de la résistance thermique totale.

La **limite supérieure** de la résistance thermique est déterminée en présumant que le flux thermique unidimensionnel est perpendiculaire aux surfaces de l'élément de construction. La limite supérieure est obtenue par:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}} + \frac{f_d}{R_{Td}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (8)$$

où:

- R_{Ta} , R_{Tb} , ... R_{Td} ($\text{m}^2\text{K/W}$): résistances thermiques totales (d'environnement à environnement) de chaque section, calculée selon l'équation (5);
- f_a , f_b , ... f_d (-): aires partielles (fractions) de chaque section.

La **limite inférieure** de la résistance thermique est déterminée en présumant que tous les plans parallèles aux surfaces de l'élément de construction, sont des plans isothermiques.

Pour chaque couche j thermiquement non homogène d'un élément de construction, une résistance thermique équivalente R_j est déterminée comme suit:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \frac{f_c}{R_{cj}} + \frac{f_d}{R_{dj}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (9)$$

La limite inférieure de la résistance thermique est alors déterminée selon:

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (10)$$

NOTE 1 Pour les calculs simplifiées, il est autorisé de calculer uniquement la résistance totale de l'élément de construction sur la base de la **limite inférieure** de la résistance thermique, c.-à-d. que $R_T = R''_T$. Dans l'annexe K, quelques exemples de calcul sont donnés afin d'illustrer cette méthode.

NOTE 2 Une méthode pour calculer l'erreur relative maximale commise lors de la détermination de la valeur U est donnée au § 6.2.5. de la norme NBN EN ISO 6946 (voir exemple de calcul dans l'annexe K)

6.2.4 Influence des joints dans les couches de construction collées ou maçonnées

6.2.4.1 Résistance thermique de couches de construction avec joints

La résistance thermique totale des éléments de construction constitués d'une ou de plusieurs couches contenant des joints collés ou maçonnés, peut être calculée selon la méthode générale donnée dans le § 6.2.2. Une méthode simplifiée consiste à calculer la valeur U d'un élément de construction uniquement sur la base de la limite inférieure de la résistance thermique totale (R''_T) telle que décrit dans la NOTE 1 de 6.2.3.

Lors de l'application de la méthode simplifiée et en cas de couches de construction collées ou maçonnées, la méthode alternative suivante peut être suivie, laquelle mène pour R''_T au même résultat que celui donné dans le § 6.2.3.

La résistance thermique (R) d'une couche de construction avec des joints est égale à:

$$R = d/\lambda_U \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad (11)$$

où: d (m): épaisseur de la couche de construction avec joints ;
 λ_U (W/mK): la valeur λ équivalente de la couche de construction calculée comme la valeur moyenne pondérée par les aires des conductivités thermiques de la brique et du joint.

La valeur moyenne pondérée par les aires λ_U de la brique et du joint peut être calculée comme suit:

$$\lambda_U = \frac{\lambda_{U,mat} \cdot A_{mat} + \lambda_{U,joint} \cdot A_{joint}}{A_{mat} + A_{joint}} \quad (\text{W/mK}) \quad (12)$$

où:

- $\lambda_{U,mat}$ (W/mK): conductivité thermique de la brique (sans joints) ;
- $\lambda_{U,joint}$ (W/mK): conductivité thermique du matériau de rejointoiement ;
- A_{mat} (m²): aire visible totale de la brique (sans joints) ;
- A_{joint} (m²): aire visible totale des joints.

La formule de conductivité thermique équivalente ci-dessus peut aussi s'écrire:

$$\lambda_U = \lambda_{U,mat} \cdot (1 - f_{joint}) + \lambda_{U,joint} \cdot f_{joint} \quad (\text{W/mK}) \quad (13)$$

où:

- f_{joint} : la fraction de joint (-).

Dans le cas d'une géométrie rectangulaire répétitive où les joints horizontaux et verticaux ont la même épaisseur (comme dans la maçonnerie), la fraction de joint peut être calculée comme suit.

$$f_{joint} = \frac{A_{joint}}{A_{mat} + A_{joint}} = 1 - \frac{l \cdot h}{(l + d) \cdot (h + d)} \quad (-) \quad (14)$$

où (voir Figure 4) :

- l (mm) et h (mm): longueur et hauteur de la brique (rectangulaire) ;
- d (mm): épaisseur du joint (souvent 6 ou 12 mm pour la maçonnerie).

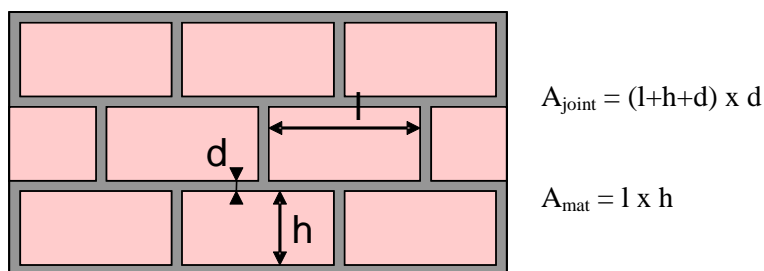


Figure 4 – paramètres pour la détermination de la fraction de joint

En ce qui concerne d'autres configurations géométriques (p.e. absence de joint vertical), la fraction de joint doit être calculée de manière appropriée et ainsi être introduite dans la formule (13). Dans le Tableau 5, les valeurs de la fraction de joint f_{joint} sont données à titre d'exemple pour les dimensions les plus courantes des briques et pour une épaisseur de joint adoptée de 12 mm.

d = 12 mm (épaisseur de joint)		l (mm) : longueur brique									
		180	190	210	215	220	240	290	390	590	600
h (mm) : hauteur brique	40	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,25	0,25	0,25
	48	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22	0,22	0,22
	50	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21	0,21
	60	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18
	65	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,18	0,17	0,17
	90	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13
	140	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10
	190	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08
250	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	

Tableau 5 – Fraction de joint f_{joint} en fonction des dimensions de la brique

6.2.4.2 Conventions relatives aux couches de construction avec joints

En ce qui concerne le jointoyage, les conventions suivantes peuvent être utilisées:

- si l'épaisseur de joint ne mesure à aucun endroit plus de 3mm, il est autorisé de ne pas prendre l'influence du joint en considération (quel que soit le matériau de rejointoiment), dans ce cas s'applique donc: $\lambda_U = \lambda_{U,mat}$
- pour la fraction de joint, les valeurs par défaut suivantes peuvent être utilisées:
 - si $\lambda_{U,joint} \leq \lambda_{U,mat}$: $f_{joint} = 0,00$ (0%) et par conséquent $\lambda_U = \lambda_{U,mat}$ s'applique également
 - si $\lambda_{U,joint} > \lambda_{U,mat}$:
 - pour la maçonnerie intérieure : $f_{joint} = 0,16$ (16%)
 - pour la maçonnerie extérieure : $f_{joint} = 0,28$ (28%)
- pour les briques de construction à joints debout secs (briques à rainure et languette), il faut tenir compte uniquement des joints horizontaux dont la fraction de joint n'est donnée qu'en fonction de la hauteur de la brique ; pour cette maçonnerie, la fraction de joint est donnée dans le Tableau 6.

d = 12 mm (épaisseur de joint)	Hauteur de la brique h (mm)								
	40	48	50	60	65	90	140	190	250
f _{joint}	0,23	0,20	0,19	0,17	0,16	0,12	0,08	0,06	0,05

Tableau 6 – Fraction de joint f_{joint} pour briques à rainure et languette avec joints debout secs

Exemples de briques ou de matériaux couramment mis en œuvre avec joints :

- pierre naturelle (tableau A.2)
- briques de maçonnerie (tableaux A.3 à A.8)
- blocs creux (tableau B.1)
- carreaux de verre (§ 11.1)
- ...

NOTE 1 Pour les pierres naturelles et les briques maçonnées, les tableaux A.2 à A.8 (annexe A) rendent les valeurs de conductivité thermique $\lambda_{U,mat}$. Ces valeurs sont valables pour les briques collées, pour lesquelles l'épaisseur de joint est conventionnellement considérée comme inférieure à 3 mm.

NOTE 2 Lorsque le matériau de construction est caractérisé par une résistance thermique R (p.e. tableau B.1 pour les blocs de béton creux), la conductivité thermique correspondante est égale à l'épaisseur (d), divisée par la résistance thermique concernée : $\lambda_{U,mat} = d/R$. Cette valeur est ensuite utilisée dans les formules appropriées.

NOTE 3 Lorsque le matériau de construction est caractérisé par un coefficient de transmission thermique U (p.e. dans le cas de carreaux de verre - voir 11.1), il faut d'abord calculer la résistance thermique en soustrayant les résistances thermiques d'échange de la résistance totale ($R = 1/U - R_{se} - R_{si}$) et ensuite déterminer la conductivité thermique correspondante comme expliqué en NOTE 2.

6.3 Conventions relatives aux blocs ou briques perforés

Pour la maçonnerie érigée en **blocs ou briques perforés**, la valeur λ_U de ces briques est empruntée aux valeurs tabulaires de briques pleines de même nature (tableaux A.3 à A.8 de l'annexe A), mais en considérant la masse volumique de la brique perforée.

Suivant l'information connue relative à la brique perforée, la valeur λ_U peut être déterminée selon les modes suivants:

- 1) Si la nature de la brique est connue, ainsi que la masse volumique du matériau (brique pleine) et le pourcentage de perforations, la masse volumique de la brique perforée est alors calculée et ensuite la valeur λ_U correspondante est empruntée au tableau correspondant. Un exemple:
 - Donnée : une brique en terre cuite (avec spécification de produit) avec 30% de perforations et une masse volumique du matériau (brique pleine) de 1800 kg/m³ ;
 - Détermination : vu que la brique pleine a une masse volumique de 1800 kg/m³ et que la brique a 30% de perforations, la masse volumique de la brique perforée est égale à 1800 kg/m³ x 70% = 1260 kg/m³ ; la valeur λ_{U_i} correspondante à cette masse volumique de 1260 kg/m³ est égale à 0,39 W/mK (voir tableau A.3).
- 2) Si la nature de la brique est connue ainsi que les dimensions et la masse volumique de la brique perforée mais le pourcentage de perforations ne l'est pas, la valeur λ_U peut alors être empruntée directement du tableau correspondant. Exemple:
 - Donnée: une brique perforée (avec spécification de produit) avec dimensions 290 x 140 x 90 mm et pesant 4,6 kg ;
 - Détermination: la masse volumique de la brique perforée est égale au poids divisé par le volume, c.-à-d. 4,6/(0,29x0,14x0,09) = 1260 kg/m³ ; la valeur λ_{U_i} peut directement être déterminée pour cette masse volumique de 1260 kg/m³, c.-à-d. 0,39 W/mK (tableau A.3).

6.4 Conventions relatives aux couches non homogènes d'un élément de bâtiment avec structure en bois

Beaucoup de parois contiennent des couches de construction non homogènes dans lesquelles la structure en bois est incorporée. Des exemples connus sont les chevonnages dans une toiture inclinée ou plate, les planchers en bois, les parois d'ossature en bois, etc.... Généralement, des couches d'isolation se situent entre cette structure en bois et dont le pouvoir isolant est affaibli par la présence de poutres ou montants en bois qui coupent les couches d'isolation.

Lors de la détermination de la valeur U de telles parois, la résistance thermique de chaque couche coupée par un élément en bois doit être calculée en fonction de la fraction de bois dans cette couche.

A cause de la grande diversité de dimensions possibles de pannes, poutres, chevrons, etc.... ainsi que les distances intermédiaires variables après la pose de ces éléments, il n'est pas très sensé de rendre des valeurs tabulaires utilisables pour les fractions de bois. S'il y a suffisamment de données disponibles relatives à la largeur et aux distances intermédiaires (de centre à centre) des éléments répétitifs en bois, la fraction de bois de la couche dans laquelle l'élément en bois est placé, peut être calculée comme suit:

$$\text{fraction de bois} = \frac{\text{largeur des éléments en bois}}{\text{distance intermédiaire moyenne (centre à centre)}}$$

Lors de la définition de la fraction de bois, il faut non seulement tenir compte des chevrons ou des poutres mais également de la présence éventuelle d'entretoises en bois qui consolident la structure. En ce qui concerne ces entretoises, la fraction de bois peut être augmentée d'un terme additionnel de 1 % (+ 0,01). Des valeurs par défaut peuvent toujours être utilisées, qui correspondent aux limites supérieures des valeurs les plus courantes. Ces fractions de bois (valeurs par défaut) sont données dans le Tableau 7.

Structure en bois	Fraction de bois (valeurs par défaut)
Toiture à pannes (pannes - structure portante primaire)	0,11
Toiture à pannes (largeur chevrons \geq 50 mm – structure portante secondaire)	0,20
Toiture à fermes (largeur fermettes \leq 35 mm – structure portante secondaire)	0,12
Planchers en bois (poutres – structure portante secondaire)	0,11
Parois à ossature en bois	0,15

Tableau 7 – Fractions de bois (valeurs par défaut) pour couches de paroi avec structure en bois

7. Coefficient de transmission thermique d'éléments de construction opaques

7.1 Expression générale

Voir la norme NBN EN ISO 6946 (§ 7) – Coefficient de transmission thermique
Le coefficient de transmission thermique (valeur U) d'un élément opaque est donné par:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (15)$$

Lors du calcul de la valeur U, les données introduites adoptées doivent être communiquées pour information ou être disponibles.

NOTE Si la valeur U est présentée comme résultat final, elle doit être arrondie à 2 décimales.

7.2 Méthodes de calcul numériques et simplifiées

Le calcul de la valeur U est très simple à exécuter dans le cas d'éléments de construction composés de couches planes, parallèles et homogènes. Dans ces cas, le flux thermique passant à travers les éléments de construction de l'environnement intérieur vers l'environnement extérieur est perpendiculaire aux couches de construction (sans aucune déviation) et la valeur U est obtenue en additionnant toutes les résistances thermiques des couches de construction.

En réalité, les éléments présentent toutefois généralement des irrégularités ou sont composés de couches hétérogènes. Dans ces cas, le flux thermique est irrégulier et influence en conséquence la résistance thermique de l'élément de construction.

L'impact sur la valeur U peut être calculé avec précision sur la base d'un calcul numérique ou calculé de manière simplifiée sur la base des formules données dans cette norme.

Les calculs numériques sont des calculs informatisés détaillés permettant de déterminer le flux thermique bi- ou tridimensionnel à travers des éléments de construction hétérogènes et pouvant à partir de cela déduire une valeur U précise. Le logiciel utilisé à cet effet doit être validé selon les directives des différentes normes européennes EN (NBN EN ISO 10211 pour les ponts thermiques en 2D et 3D, NBN EN ISO 10077-2 pour les profilés d'encadrement, NBN EN ISO 13370 pour pertes au sol).

Les calculs numériques sont mis en application pour déterminer la valeur U des éléments de construction présentant éventuellement des pertes de chaleur supplémentaires (ex. ponts thermiques, des composants qui interrompent une couche d'isolation, des parois munies d'éléments de construction métalliques), des constructions complexes ou des éléments préfabriqués (ex. des profilés d'encadrement, des modules de façades légères), des situations d'angle ou des raccordements dans lesquels apparaît un flux thermique tridimensionnel, etc..

Les calculs numériques donnent des résultats les plus précis et sont toujours applicables. Toutefois, il est important que ces calculs soient exécutés par des personnes compétentes ayant reçu une formation à ces fins. Cependant, dans beaucoup de cas, il n'est pas nécessaire de faire appel à des calculs numériques et des méthodes de calculs simplifiées peuvent être appliquées, donnant via un calcul manuel (formule) une valeur U suffisamment précise.

Les **calculs simplifiés** repris dans cette norme peuvent toujours être appliqués à titre d'alternative admissible pour autant que ceux-ci tombent dans le domaine d'application décrit dans différents cas.

7.3 Conventions complémentaires relatives à la détermination de valeur U

7.3.1 Toitures ayant des tuiles ou des ardoises chevauchantes comme couverture de toiture

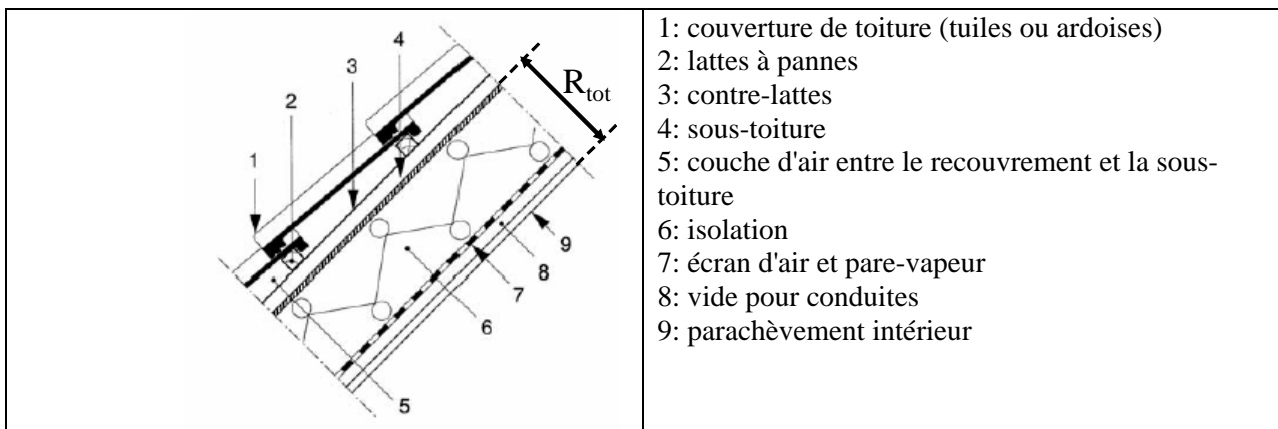


Figure 5 – Résistance thermique d'une toiture en tuiles ou en ardoises

Dans le cas d'une toiture en tuiles ou en ardoises (Figure 5), il est admis que la couche d'air entre le recouvrement de toiture et la sous-toiture constitue une lame d'air fortement ventilée. Cela signifie que toutes les couches de construction situées entre cette couche d'air et l'environnement extérieur sont négligées lors de calcul de la résistance thermique totale du toit et que la résistance thermique d'échange au niveau de la sous-toiture est considérée comme égale à R_{si} (voir 5.4.3.4) :

$$1/U = R_T = R_{si} + R_{tot} + R_{si} \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (16)$$

où: R_{tot} ($\text{m}^2\text{K/W}$): la somme des résistances thermiques de tous les couches de construction entre l'environnement intérieur et la couche d'air fortement ventilée (couches 4, 6, 7, 8 et 9).

7.3.2 Planchers

Les conventions suivantes sont en vigueur pour la détermination de la valeur U des planchers :

- Pour les planchers sur terre-plein il n'est pas tenu compte des remblayages sous la dalle de sol dont les caractéristiques thermiques diffèrent peu de celles du sol (ex. sable stabilisé) ; ces matériaux sont donc considérés comme appartenant au sol ; la résistance thermique totale du plancher est donc limitée à celle de toutes les couches entre la surface intérieure et le plan de séparation avec le sol.
- La valeur U ne prend pas en considération la résistance thermique des couches de parachèvement ou des revêtements de sol qui ne sont pas fixés ou qui sont facilement amovibles tels que les tapis, carpettes, etc.....

7.3.3 Faux plafonds

En ce qui concerne les faux plafonds, il est admis que la résistance thermique de la lame d'air ou de l'espace situé entre la structure portante et le faux plafond, peut être négligée si cet espace n'est pas hermétiquement séparé de l'espace intérieur sous le faux plafond. Dans ce cas, l'espace situé au-dessus du faux plafond appartient à l'espace intérieur sous-jacent.

7.3.4 Toits verts

Les toits verts sont des toits accessibles ou non, plats ou inclinés ayant comme caractéristique frappante qu'ils sont pourvus d'une couche de terre au-dessus de la structure de toiture fixe, servant à des plantations ou à de la végétation (gazon, fleurs, fourrés, ...). Selon la nature et l'emplacement de la végétation, tant la nature que l'épaisseur de la couche de terre peuvent varier. En outre, la conductivité thermique de la

couche de terre proprement dite peut fortement varier dans le temps sous l'influence des conditions atmosphériques (température et degré d'humidité) et des possibilités de drainage du toit.

La résistance thermique additionnelle pour les toits verts tient compte d'une valeur par défaut de 2 W/mK en ce qui concerne la conductivité thermique de la terre. Dans le cas où l'épaisseur (moyenne) de la couche de terre n'est pas connue, une valeur par défaut de 0,05 m²K/W est prise en considération pour la résistance thermique de la couche de terre.

7.4 Corrections sur la valeur U des éléments de construction opaques

7.4.1 Généralités

Voir NBN EN ISO 6946 (Annexe D.1) - Généralités

Afin de tenir compte de l'effet possible de la pose fautive d'une couche d'isolation dans un élément de construction, des corrections doivent être apportées à la valeur U calculée de cet élément de construction (domaine d'application : voir NOTE 2). Une « couche d'isolation » est définie comme la couche de construction qui présente la résistance thermique la plus grande dans l'élément de construction et qui est composée d'un matériau d'isolation dont la valeur de calcul de la conductivité thermique (équivalente) satisfait à la condition : $\lambda_{U_i} \leq 0,100$ W/mK.

Concernant les corrections à appliquer, l'influence des cas suivants est prise en compte :

- les tolérances de mesure et de pose des couches d'isolation, lors de l'exécution de l'élément de construction ;
- les fentes d'air ou les cavités dans les couches d'isolation ;
- les fixations mécaniques qui perforent les couches d'isolation ;
- l'effet des précipitations sur les toitures inversées (toitures où la couche d'isolation thermique se trouve au-dessus de la membrane d'étanchéité à l'eau).

La valeur U corrigée (U_c) est calculée comme suit:

$$U_c = U + \Delta U_{cor} + \Delta U \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (17)$$

avec :

- U (W/m²K) : valeur U de l'élément de construction, calculée selon le § 7.1 ;
- ΔU_{cor} (W/m²K) : terme correctif pour les tolérances de mesure et de pose lors de l'exécution de l'élément de construction, déterminé selon le § 7.4.2;
- $\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r$ W/m²K (18)

avec :

- ΔU_g (W/m²K): terme correctif pour les fentes d'air et les cavités, déterminé selon le § 7.4.3 ;
- ΔU_f (W/m²K): terme correctif pour les fixations mécaniques, déterminé selon le § 7.4.4 ;
- ΔU_r (W/m²K): terme correctif pour toiture inversée avec isolation XPS, déterminé selon le § 7.4.5.

NOTE 1 Le terme correctif global (ΔU) ne doit pas être appliqué si sa valeur reste inférieure à 3 % de la valeur U calculée, c.à.d. que $\Delta U = 0$ si $\Delta U < 0,03 \cdot U$.

NOTE 2 Les termes correctifs ΔU_{cor} et ΔU ne doivent pas être appliqués dans les cas suivants :

- pour l'isolation en PUR projetée in situ (autre type de correction, voir le § 5.3.3.1) ;
- pour les éléments de construction entièrement ou partiellement translucides (y compris leurs composants), à condition que les valeurs U correspondantes sont déterminées selon les méthodes de calcul ou d'essai décrites dans le § 9 (fenêtres, portes), le § 10 (façades légères) ou le § 11 (briques en verre, coupoles, lanterneaux, verre profilé) ;
- pour tous les éléments de construction qui sont soumis à un transfert de chaleur via le sol, à condition que les valeurs U correspondantes sont déterminées selon les méthodes de calcul décrites dans le § 16 (planchers en contact direct avec le sol, planchers et murs enterrés ou planchers au-dessus des espaces non-chauffés renfermés entièrement ou partiellement par le sol).

7.4.2 Correction sur la valeur U pour les tolérances de mesure et de pose lors de l'exécution de l'élément de construction (ΔU_{cor})

Si l'élément de construction comprend au moins une couche d'isolation, comme définie dans le § 7.4.1, il faut appliquer sur la valeur U un terme correctif forfaitaire (ΔU_{cor}) qui tient compte des tolérances de mesure et de pose lors de l'exécution de cet élément de construction et qui est calculé suivant :

$$\Delta U_{cor} = \frac{1}{R_T - R_{cor}} - \frac{1}{R_T} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (19)$$

avec : R_T (m²K/W) résistance thermique totale de l'élément de construction, calculée suivant 6.1.
 R_{cor} (m²K/W) diminution de la résistance totale de l'élément de construction due aux tolérances de mesure et de pose, égale à 0,10 m²K/W.

NOTE Le terme correctif ΔU_{cor} est toujours appliqué, même si le terme correctif ΔU_g pour des trous ou couches d'air dans ou entre les couches d'isolation est pris en compte (voir 7.4.3).

7.4.3 Correction sur la valeur U pour les fentes d'air et cavités dans ou entre les couches d'isolation (ΔU_g)

7.4.3.1 Définitions

Voir NBN EN ISO 6946 (annexe D.2.1) - Définitions

Des couches d'air indésirables, des trous ou des fentes d'air peuvent survenir dans, entre ou autour des couches d'isolation dans un élément de construction à la suite d'une mauvaise pose, d'une mauvaise utilisation d'une mauvaise qualité du produit d'isolation ou encore à la suite de trop grandes tolérances relatives à des matériaux d'isolation posés l'un contre l'autre.

On peut les classer dans les deux catégories suivantes:

- fentes d'air entre les panneaux ou tapis d'isolation ou entre les couches d'isolation et une partie de la construction, dans la direction du flux thermique ;
- trous d'air dans la couche d'isolation elle-même ou entre l'isolation et une partie de la construction, perpendiculaire au flux thermique.

7.4.3.2 Conditions d'application des corrections

Voir NBN EN ISO 6946 (Annexe D.2.2) - Corrections

Des couches d'air non désirés ou les trous d'air augmentent la valeur U de l'élément de construction à cause de l'augmentation de la transmission thermique par rayonnement et par convection. L'ampleur de cette augmentation dépend de la grandeur, de l'orientation et de la position de la lame d'air. La correction de la valeur U est réalisée en augmentant la valeur U du terme correctif ΔU_g

En général, les lames d'air ne peuvent être évitées dans des éléments de construction en raison des irrégularités (tolérances dimensionnelles) qui surgissent pendant le processus de construction même. Les *fentes d'air* dans les couches d'isolation sont provoquées par de petites déviations dans les mesures des produits d'isolation (tolérances dimensionnelles) ou par des modifications des mesures souhaitées lors de la coupe et de la pose du produit.

Seules les fentes d'air qui engendrent une liaison directe entre le côté chaud et le côté froid de la couche d'isolation thermique justifient une majoration ou correction sur la valeur U, qui de plus est relativement petite dans la plupart des cas. La pose de l'isolation en une ou deux couches et dont les joints se chevauchent est suffisante pour ne pas appliquer la correction.

Les *trous d'air* sont la conséquence de surfaces non planes des couches dans un élément de construction. La couche d'isolation est trop rigide, trop flexible ou trop incompressible afin de dissimuler toutes les irrégularités. Des irrégularités telles les barbes de mortier créent par exemple des trous d'air entre la couche d'isolation et le mur intérieur. Si ces trous d'air sont discontinus (aucune communication avec

d'autres trous ou de fentes d'air ou même l'environnement intérieur ou extérieur) il suffit de prévoir seulement un petit supplément.

Une bonne correspondance est visée entre les corrections calculées et les corrections mesurées de tous les types de lames d'air. La combinaison de deux types de lames d'air mène toujours à des plus grandes pertes de chaleur lesquelles nécessitent une plus grande correction. Dans le cadre de cette norme, il est en tout cas supposé que la pose de l'isolation est réalisée selon les règles minimales d'un bon savoir-faire.

Niveau de pose	Description	$\Delta U''$ W/(m ² K)
0	Couche d'isolation contenant pas ou de petites lames ou fentes d'air qui n'ont qu'une influence peu significative sur la valeur U	0,00
1	Présence de lames ou de fentes d'air qui enjambent les côtés chaud et froid de la couche d'isolation mais qui ne provoquent pas de circulation d'air entre les côtés chaud et froid de l'isolation	0,01
2	Présence de lames ou de fentes d'air qui enjambent les côtés chaud et froid de la couche d'isolation, combinées avec des couches d'air qui aboutissent à une circulation d'air entre les côtés chaud et froid de l'isolation	0,04

Tableau 8 – Corrections pour lames ou fentes d'air

La correction à appliquer est calculée selon:

$$\Delta U_g = \Delta U'' \cdot \left[\frac{R_1}{R_{T,h}} \right]^2 \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (20)$$

où:

- R_1 (m²K/W): résistance thermique de la couche d'isolation qui contient des trous ou des fentes d'air, calculée selon le § 5.3 ;
- $R_{T,h}$ (m²K/W): résistance thermique globale de l'élément de construction, sans tenir compte d'aucun pont thermique, calculée selon le § 6.1 ;
- $\Delta U''$ (W/m²K): correction conventionnelle dépendante du niveau de la pose de l'isolation, selon Tableau 8.

7.4.3.3 Exemples de niveau de pose

Voir NBN EN ISO 6946 (Annexe D.2.3) - Exemples

7.4.3.3.1 Exemples de niveau 0, pour lesquels $\Delta U'' = 0$

Les exemples suivants illustrent le niveau 0 :

- Une couche d'isolation ininterrompue (absence de joints). La face chaude de la couche d'isolation est en contact étroit avec la construction ; absence de lames d'air entre l'isolation et la construction.
- Plusieurs couches d'isolation dont une couche ininterrompue (les autres couches peuvent être éventuellement interrompues). La face chaude de la couche d'isolation est en contact étroit avec la construction ; absence de lame d'air entre l'isolation et la construction.
- Une couche d'isolation ininterrompue avec raccords. Les raccords sont exécutés avec rabats, dent et rainure ou sont collés. La face chaude de la couche d'isolation est en contact étroit avec la construction ; absence de lame d'air entre l'isolation et la construction.
- Une couche d'isolation avec joints montants dont les tolérances dimensionnelles (longueur, largeur, équerrage) en combinaison avec une stabilité dimensionnelle aboutissent en fentes d'air dont la largeur reste inférieure à 5 mm. La face chaude de la couche d'isolation est en contact étroit avec la construction ; absence de lames d'air entre l'isolation et la construction.
- Une couche d'isolation dont la résistance thermique est inférieure ou égale à la moitié de la résistance thermique totale de l'élément de construction (donc si $R_1 \leq 0,5 \cdot R_{T,h}$). La face chaude de la couche d'isolation est en contact étroit avec la construction ; absence de lames d'air entre l'isolation et la construction.

7.4.3.3.2 Exemples de niveau 1, pour lesquels $\Delta U'' = 0,01$

Les exemples suivants illustrent le niveau 1 :

- Une couche d'isolation qui est ininterrompue à travers les parties de construction (ponts thermiques). La face chaude de la couche d'isolation est en contact étroit avec la construction ; absence de lames d'air entre l'isolation et la construction.
- Une couche d'isolation ininterrompue avec joints montants, dont les tolérances dimensionnelles en combinaison avec la stabilité dimensionnelle aboutissent à des fentes d'air dont la largeur est supérieure à 5 mm. La face chaude de la couche d'isolation est en contact étroit avec la construction ; absence de lames d'air entre l'isolation et la construction.

7.4.3.3.3 Exemples du niveau 2, pour lesquels $\Delta U'' = 0,04$

L'exemple suivant illustre le niveau 2 :

- Une ou plusieurs couches d'isolation dont la face chaude n'est pas en contact étroit avec la construction qui sont la cause de la création de lames et de fentes d'air aboutissant à une circulation d'air entre les faces chaude et froide de la couche d'isolation.

7.4.4 Correction sur la valeur U pour fixations mécaniques perforant la couche d'isolation (ΔU_f)

Voir NBN EN ISO 6946 (Annexe D.3) – Correction sur fixations mécaniques

7.4.4.1 Calcul précis

Lorsqu'une couche d'isolation est traversée par des fixations mécaniques (ex. crochets de mur, fixations de toiture, ...) ou si les deux extrémités de ces fixations mécaniques sont en contact thermique direct avec des plaques en métal, l'impact de ces fixations peut toujours être calculé avec précision par un calcul numérique selon la norme NBN EN ISO 10211, où une valeur U ponctuelle (χ en W/K) est déterminée pour une fixation mécanique.

La correction sur la valeur U (ΔU_f) est alors donnée par :

$$\Delta U_f = n_f \cdot \chi \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (21)$$

où n_f est égale au nombre de fixations par m^2 .

7.4.4.2 Calcul approximatif

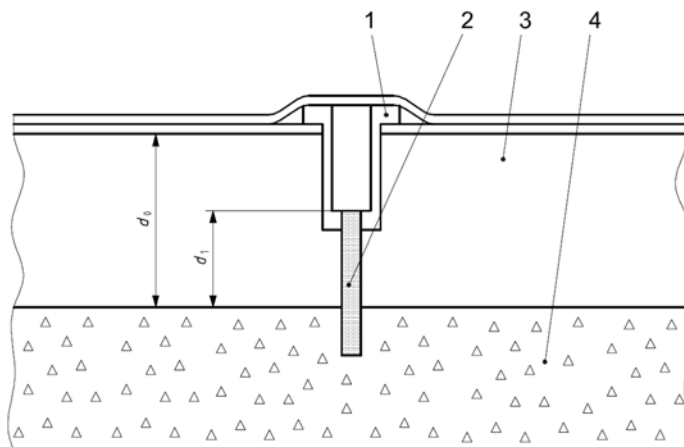
Pour les autres cas, la méthode de calcul simplifiée suivante est appliquée, où l'impact de la fixation mécanique est déterminé par le terme correctif ΔU_f calculé comme suit:

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_0} \cdot \left[\frac{R_1}{R_{T,h}} \right]^2 \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (22)$$

dans laquelle:

- d_0 (m) : épaisseur de la couche d'isolation ;
- d_1 (m): longueur de la fixation, déterminée comme suit:
 - dans le cas de fixations traversant complètement la couche d'isolation (sous un angle droit ou oblique), la longueur est égale ou supérieure à l'épaisseur de la couche d'isolation : $d_1 \geq d_0$;
 - dans le cas de fixations noyées, la longueur est égale à la partie de la fixation qui traverse la couche d'isolation, c.à.d. plus petite que l'épaisseur de la couche d'isolation : $d_1 < d_0$ (voir Figure 6)
- λ_f (W/mK): la conductivité thermique de la fixation mécanique (voir NOTE) ;
- n_f (m^{-2}): le nombre de fixations mécaniques par m^2 ;
- A_f (m^2): la section d'une fixation mécanique ;

- α (-): coefficient correctif, déterminé comme suit:
 - $\alpha = 0,8$ si la fixation mécanique traverse complètement la couche d'isolation
 - $\alpha = 0,8 \times d_1/d_0$ si la fixation est noyée dans la couche d'isolation (voir Figure 6) ;
- R_1 (m²K/W): la résistance thermique (valeur de calcul) de la couche d'isolation (homogène) qui est traversée par la fixation mécanique ($R_1 = d_1/\lambda_{\text{ins}}$) ;
 - λ_{ins} (W/mK): la conductivité thermique de la couche d'isolation ;
- $R_{T,h}$ (m²K/W): la résistance thermique totale de l'élément de construction, sans tenir compte d'un pont thermique quelconque, calculée selon le § 6.1 ;



1 : chapeau en matière synthétique – 2 : fixation noyée – 3 : couche d'isolation – 4 : dalle toiture

Figure 6 – Fixation mécanique noyée

NOTE Dans le cas de crochets de mur, le terme correctif ΔU_f ne doit pas être appliqué dans les cas suivants :

- crochets de mur dans des vides non isolés ;
- crochets de mur dont la conductivité thermique (λ_f) est inférieure à 1 W/mK (p.e. matière synthétique)

Valeurs par défaut pour les crochets de mur (en cas de murs creux maçonnés) :

Si aucune information relative à la nature des crochets de mur n'est donnée, les valeurs par défaut suivantes peuvent être utilisées:

- le nombre de crochets de mur par m²: $n_f = 5$ (NBN B 24-301:1980)
- la section d'un crochet de mur: $A_f = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ ($\varnothing 4 \text{ mm}$)
- la conductivité thermique du matériau du crochet de mur: $\lambda_f = 50 \text{ W/mK}$ (acier)
- la longueur du crochet de mur est égale à l'épaisseur de la couche d'isolation: $d_1 = d_0$

7.4.5 Correction sur la valeur U des toitures inversées avec isolation XPS (ΔU_r)

7.4.5.1 Généralités

Voir NBN EN ISO 6946 (Annexe D.4.1) – Généralités

Dans le cas de toitures inversées où la membrane de barrage d'humidité est située sous la couche d'isolation, un terme correctif ΔU_r doit être calculé afin de tenir compte de l'impact de l'eau de pluie qui s'écoule entre la couche d'isolation et la membrane. Cette procédure correctrice doit seulement être appliquée pour le calcul des pertes de chaleur et pas pour le calcul des besoins frigorifiques. La procédure suivante est uniquement en vigueur pour les couches d'isolation composées de polystyrène extrudé (XPS).

7.4.5.2 Correction par suite de l'écoulement d'eau entre l'isolation et la membrane d'étanchéité

Voir NBN EN ISO 6946 (Annexe D.4.2 et D.4.3) – Correction par suite de l'écoulement d'eau entre isolation et membrane d'étanchéité

Le terme correctif ΔU_r à utiliser, qui tient compte de la perte de chaleur supplémentaire résultant de l'écoulement d'eau de pluie sous la couche d'isolation dans des toitures inversées, est calculé selon la formule:

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \cdot \left[\frac{R_1}{R_T} \right]^2 \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (23)$$

dans laquelle:

- p (mm/jour): la précipitation moyenne pendant la saison de chauffe ;
- f (-): facteur de drainage, caractérisant la fraction de pluie moyenne qui atteint la membrane ;
- x (W.dag/m².K.mm): facteur qui caractérise la perte de chaleur accrue par suite de l'écoulement d'eau de pluie sous la couche d'isolation ;
- R_1 (m²K/W): valeur corrigée de la résistance thermique de la couche d'isolation XPS ($R_{D,XPS}$) afin de tenir compte d'une augmentation du taux d'humidité par diffusion ;
- R_T (m²K/W): résistance thermique totale du toit, sans tenir compte d'une correction quelconque.

Le terme correctif ΔU_r est arrondi à deux décimales. Les valeurs inférieures à 0,01 W/m²K sont négligées.

NOTE Si les données pour calculer le supplément (ΔU_r), par suite de l'écoulement d'eau de pluie sous la couche d'isolation et de l'absorption de l'eau dans les plaques d'isolation, ne sont pas connues, la valeur U de l'élément de toiture peut être calculée de manière simplifiée en diminuant la résistance thermique de la couche d'isolation XPS ($R_{D,XPS}$) d'un facteur C :

$$1/U = R_T = R_{si} + R_{tot} + C \cdot R_{D,XPS} + R_{se} \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (24)$$

R_{tot} est la résistance thermique totale de l'élément de toiture, à l'exclusion de la résistance thermique de la couche d'isolation XPS ($R_{D,XPS}$). Une valeur par défaut de 0,7 peut être admise pour le facteur C .

7.5 Valeur U d'un élément de construction d'épaisseur variable et de forme irrégulière

Voir NBN EN ISO 6946 (Annexe C)

7.5.1 Méthode générale

Dans le cas d'éléments de construction composés de parties d'éléments de forme irrégulières et/ou de couches de construction d'épaisseur variable (Figure 7), la résistance thermique totale de l'élément de construction varie sur toute sa surface et c'est la raison pour laquelle une valeur U moyenne doit être déterminée pour l'ensemble de l'élément.

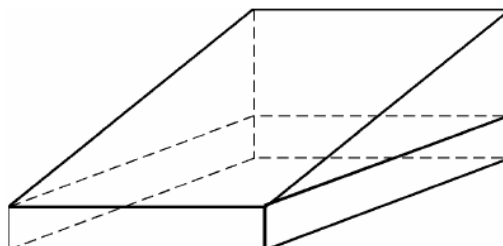
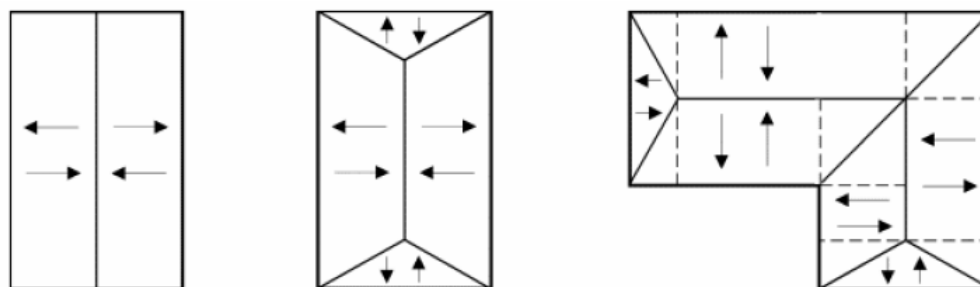


Figure 7 – Élément de construction avec couche de construction inclinée

La valeur U moyenne de tels éléments de construction est déterminée comme suit:

- l'ensemble de l'élément est d'abord décomposé en éléments partiels qui correspondent à la forme et à l'inclinaison des trois formes de bases montrées en 7.5.2 ; un exemple d'une telle décomposition est illustré dans la Figure 8 pour un nombre d'éléments de toiture ;
- ensuite, pour chaque élément partiel (correspondant à une forme de base déterminée et ayant une superficie propre), une valeur R et une valeur U sont calculées sur la base des formules données dans le § 7.5.3 ;
- pour finir, la valeur U est calculée pour l'ensemble de l'élément de construction comme la valeur U moyenne superficielle pondérée de tous les éléments partiels considérées ($U = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i}$).



→ ↑ ← ↓ : indiquent la direction de l'inclinaison (toutes les directions sont possibles)
 ----- : décomposition de la toiture en éléments partiels avec une base rectangulaire ou triangulaire

Figure 8 – Exemples de décomposition de toitures en éléments de toitures individuels

NOTE Cette méthode travail est valable pour les couches de construction dont l'inclinaison n'est pas supérieure à 5%, sinon un calcul numérique est pratiqué.

7.5.2 Décomposition en formes de base

Des éléments de construction avec des parties ou des couches inclinées peuvent être décomposés en trois formes de base selon la forme de la base et la direction de l'inclinaison:

- un élément de construction ayant une base rectangulaire, constitué d'une partie qui contient une ou plusieurs couches de construction planes (avec résistance thermique totale R_0) et une partie contenant une couche de construction inclinée (l'épaisseur varie entre 0 et d_2 au maximum) (Figure 9) ;

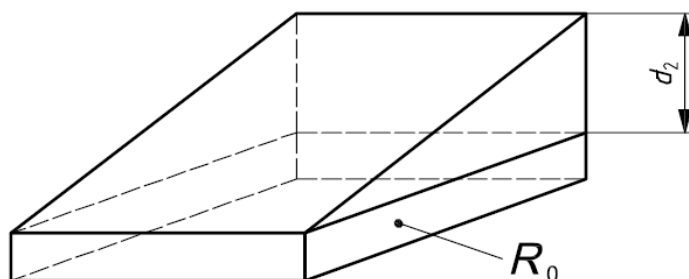


Figure 9 – Élément de construction rectangulaire, composé d'une partie inclinée et d'une partie plane (restante)

- un élément de construction ayant une base triangulaire, constitué d'une partie contenant une ou plusieurs couches de construction planes (avec résistance thermique totale R_0) et une partie contenant une couche de construction inclinée, dont soit la partie la plus épaisse (épaisseur d_2) se situe à l'angle de pointe (Figure 10 - gauche), soit la partie la plus mince (épaisseur 0) (Figure 10 - droite).

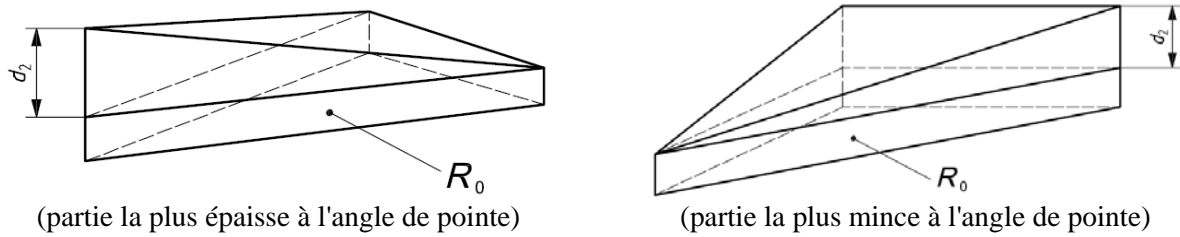


Figure 10 – Eléments de construction avec base triangulaire, composés d'une partie inclinée et d'une partie plane (restante)

- un élément de construction ayant une base triangulaire, constitué d'une partie contenant une ou plusieurs couches de construction planes (avec une résistance thermique totale R_0) et une partie contenant une couche de construction inclinée avec épaisseur minimale (= 0) dans un coin et des épaisseurs différentes dans les autres coins (épaisseur intermédiaire d_1 et épaisseur maximale d_2) (Figure 11).

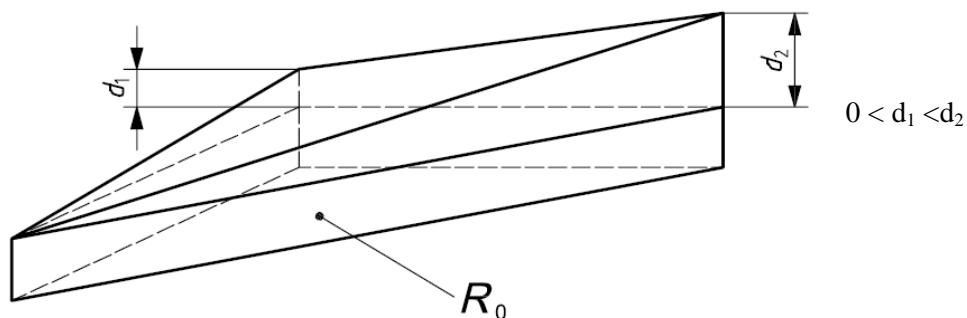


Figure 11 – Elément de construction avec base triangulaire, composé d'une partie inclinée (à épaisseurs différentes dans les coins) et d'une partie plane restante

7.5.3 Détermination de la valeur U pour chaque forme de base

La détermination de la valeur U, applicable sur les quatre formes de base précitées, peut être réalisée selon les formules suivantes:

- pour les éléments de construction avec base rectangulaire (Figure 9) :

$$U = \frac{1}{R_2} \cdot \ln \left[1 + \frac{R_2}{R_0} \right] \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (25)$$

- pour les éléments de construction avec base triangulaire (Figure 10) :
 - partie la plus épaisse à l'angle de pointe :

$$U = \frac{2}{R_2} \cdot \left[\left(1 + \frac{R_0}{R_2} \right) \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - 1 \right] \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (26)$$

- partie la plus mince à l'angle de pointe :

$$U = \frac{2}{R_2} \cdot \left[1 - \frac{R_0}{R_2} \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) \right] \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (27)$$

- pour les éléments de construction avec base triangulaire et épaisseurs différentes aux coins (Figure 11) :

$$U = 2 \cdot \left[\frac{R_0 \cdot R_1 \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - R_0 \cdot R_2 \cdot \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) + R_1 \cdot R_2 \cdot \ln \left(\frac{R_0 + R_2}{R_0 + R_1} \right)}{R_1 \cdot R_2 \cdot (R_2 - R_1)} \right] \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (28)$$

NBN B 62-002 (2008)

- où:
- R_1 ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) résistance thermique de la partie inclinée de la couche de construction avec épaisseur intermédiaire d_1 , déterminée comme $R_1 = d_1/\lambda_t$, dans laquelle λ_t (W/mK) représente la conductivité thermique de cette couche ;
 - R_2 ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) résistance thermique maximale de la partie inclinée de la couche de construction (avec épaisseur maximale d_2), déterminée comme $R_2 = d_2/\lambda_t$, dans laquelle λ_t (W/mK) représente la conductivité thermique de cette couche ;
 - R_0 ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) résistance thermique totale de la partie d'élément entière, calculée d'environnement à environnement (y compris R_{si} et R_{se}), mais en excluant la résistance thermique de la partie inclinée de la couche de construction (R_1 et/ou R_2).

NOTE Un exemple de calcul de la détermination de la valeur U moyenne d'un élément de toiture est donné dans l'annexe K.1.6.

7.5.4 Détermination simplifiée

La détermination simplifiée de la valeur U des éléments de construction avec épaisseur variable ou ayant une forme irrégulière, consiste à négliger la résistance thermique R_1 en/of R_2 de la partie inclinée de la couche de construction avec l'épaisseur variable et de prendre uniquement en compte le terme R_0 .

7.6 Valeurs U des grilles de ventilation posées dans un élément de paroi

Les grilles murales et de plancher peuvent être considérées comme étant une partie d'un élément de construction de l'enveloppe du bâtiment. Les valeurs pratiquées pour la détermination des dimensions, de l'aire de grille et du périmètre visible de telles grilles, sont données dans la Figure 12.

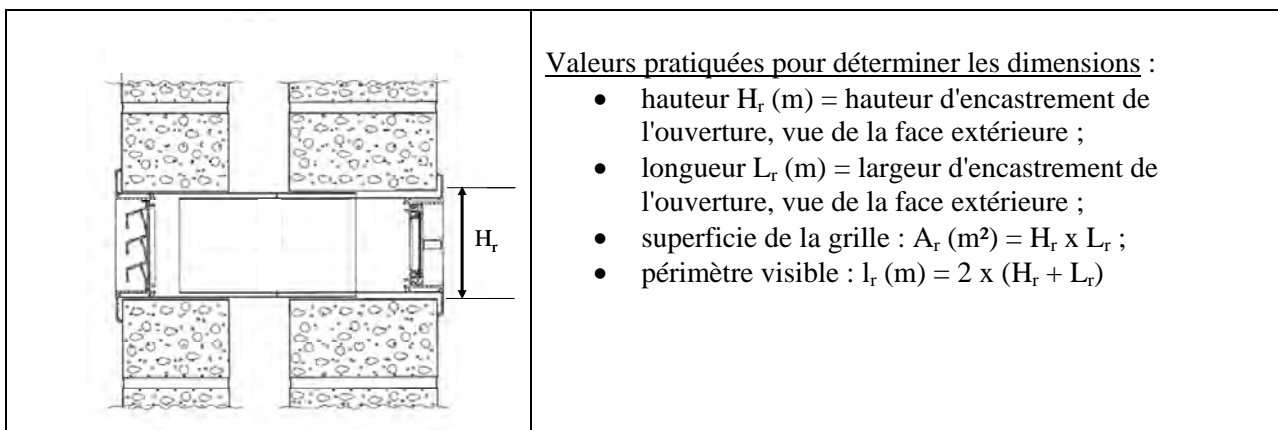


Figure 12 – Grille de ventilation posée dans un élément de paroi

Le coefficient de transmission thermique U_r d'une grille de ventilation réglable, encastrée dans un élément de paroi (mur, plancher, plafond) est déterminé comme suit:

- Pour les grilles de ventilation, dont la marque et le type sont connus, la valeur U_r déclarée par le fabricant peut être acceptée laquelle est déterminée comme suit:
 - à partir d'essais selon la norme NBN EN 12412-2, où la grille de ventilation est soumise à un test en position de fermeture ;
 - selon la méthode de calcul numérique extraite de la norme NBN EN ISO 10077-2 (Annexe C) ;
- Pour les grilles de ventilation réglables non connues, la valeur suivante par défaut peut être utilisée: $U_r = 6,0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (toutes les grilles) ; si cette valeur par défaut est utilisée, il ne faut plus tenir compte de l'effet de bord du raccordement entre la grille de ventilation et l'élément de paroi, c.-à-d. dans ce cas $\Psi_r = 0$.

NOTE Pour les grilles de ventilation en tant que composant de fenêtre, il est fait référence à 8.5.

8. Coefficients de transmission thermique des composants de fenêtres et portes

8.1 Introduction

Ce chapitre traite des coefficients de transmission thermique des composants de fenêtres et de portes. Ces composants se rapportent aux profilés d'encadrement (voir 8.2), aux vitrages (voir 8.3), aux panneaux de remplissage opaques (voir 8.4) et aux grilles de ventilation (voir 8.5). En ce qui concerne les jonctions entre eux des composants de fenêtres, les coefficients de transmission thermique linéiques sont définis dans le § 8.6

Le coefficient de transmission thermique de la fenêtre ou de la porte en tant qu'ensemble est expliqué dans le chapitre 9

8.2 Coefficient de transmission thermique des profilés d'encadrement

8.2.1 Méthode générale de détermination

Voir NBN EN ISO 10077-1 (Annexe D) – Coefficient de transmission thermique des profilés d'encadrement.

8.2.1.1 Profilés d'encadrement simples

Voir NBN EN ISO 10077-1 (Annexe D.1) - Généralités.

Les cadres fixes et/ou mobiles d'une fenêtre ou d'une porte sont composés de profilés d'encadrement.

Le coefficient de transmission thermique des profilés d'encadrement ou des combinaisons de profilés d'encadrement (U_f) peut être déterminé:

- de manière expérimentale conformément à la norme NBN EN 12412-2
- numériquement selon la méthode de calcul mentionnée dans la norme NBN EN ISO 10077-2
- selon les valeurs tabulaires simplifiées de l'annexe F.

8.2.1.2 Systèmes de profilés d'encadrement

Voir NBN EN ISO 10077-1 (Annexe D.1) - Généralités.

En pratique, des profilés d'encadrement appartenant à une même famille de profilés d'encadrement ou système de profilés d'encadrement sont le plus souvent produits. Malgré le fait que ces profilés d'encadrement prennent diverses formes géométriques, ils présentent bien les mêmes propriétés thermiques parce que les paramètres les plus importants sont les mêmes, tels les dimensions, les matériaux et la nature de la coupure thermique.

Pour les profilés d'encadrement et les combinaisons de profilés d'encadrement appartenant au même système de profilés, la valeur U_f est généralement déterminée par un calcul numérique par le fournisseur du système de profilés. Cette valeur U_f peut être appliquée:

- comme valeur univalente : dans ce cas, la valeur U_f la plus élevée est adoptée (limite supérieure), calculée à partir des combinaisons possibles de ces profilés d'encadrement et de leur système d'ouverture ;
- comme groupe de valeurs univalentes en quoi une distinction est faite entre les groupes, sur la base des combinaisons possibles et des systèmes d'ouverture:
 - combinaison de profilés d'encadrement fixes (cadre et montant) ;
 - combinaison de profilés d'encadrement fixes et ouvrants (cadre/battant, battant/maclair/battant) ;
- comme valeur U_f individuelle par combinaison de profilés d'encadrement et par systèmes d'ouverture: dans ce cas, les valeurs U_f et leurs combinaisons possibles sont disponibles sous forme de tableau ou en tant que graphique.

NOTE Dans la Figure 13 et la Figure 14, des exemples sont donnés de la détermination de la valeur U_f de systèmes de profilés d'encadrement pour des profilés d'encadrement en matière plastique et des profilés d'encadrement métalliques avec coupure thermique. Dans les deux cas, une ligne de régression est déterminée sur la base de trois profilés d'encadrement (ou combinaisons de profilés d'encadrement) sélectionnés appartenant à la même famille de profilés d'encadrement. En fonction du rapport entre la largeur totale des renforcements ou des coupures thermiques d'une part et la largeur totale de l'encadrement d'autre part, la valeur U_f correspondante peut être lue directement.

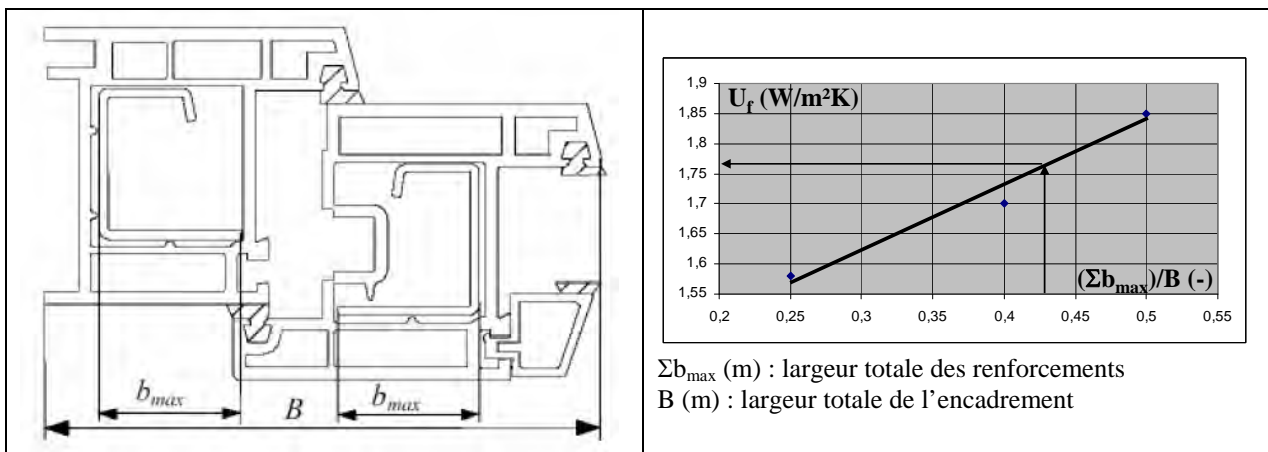


Figure 13 – Détermination de la valeur U_f de systèmes de profilés d'encadrement en plastique

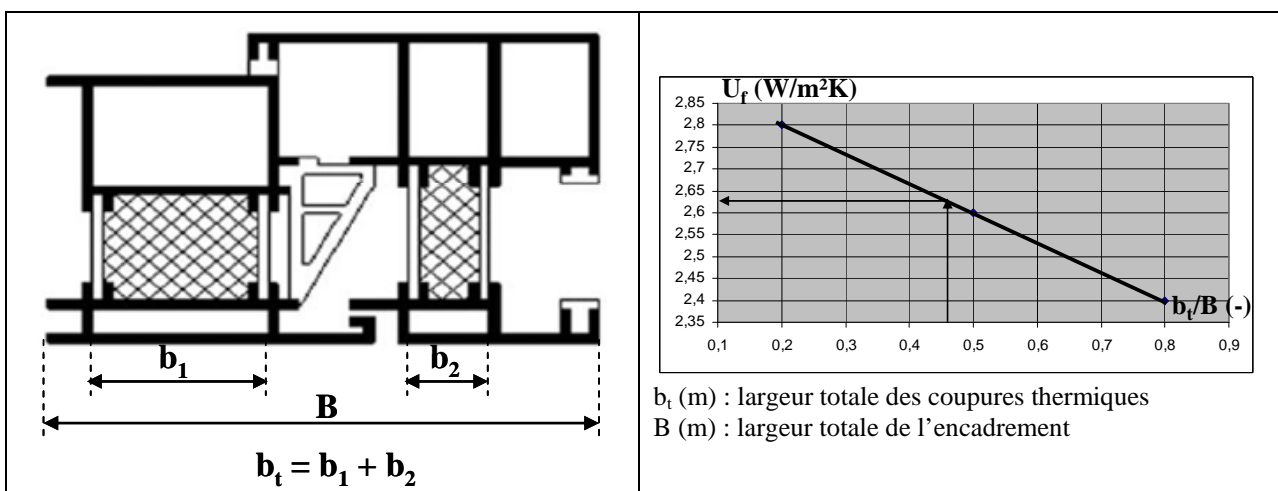


Figure 14 - Détermination de la valeur U_f de systèmes de profilés d'encadrement (métal avec coupure thermique)

8.2.2 Profilés d'encadrement en bois

Voir NBN EN ISO 10077-1 (Annexe D.3) – Profilés d'encadrement en bois

Pour les profilés d'encadrement en bois dont la marque et le type sont connus, la valeur de calcul correspond à la valeur U_f déclarée par le fabricant, déterminée selon le § 8.2.1.

Si la valeur U_f déclarée n'est pas connue ou en cas de profilés d'encadrement en bois dont seulement les caractéristiques sont connues (type de bois, épaisseur de l'encadrement), la valeur de calcul de U_f est extraite du Tableau F1 (annexe F).

8.2.3 Profilés d'encadrement métalliques

Voir NBN EN ISO 10077-1 (Annexe D.4) – Profiles métalliques

8.2.3.1 Profilés d'encadrement métalliques avec coupure thermique

Pour les profilés d'encadrement métalliques avec coupure thermique dont la marque et le type sont connus, la valeur de calcul correspond à la valeur U_f déclarée par le fabricant, déterminée selon le § 8.2.1.

Si la valeur U_f déclarée n'est pas connue ou en cas de profilés d'encadrement métalliques dont seulement quelques caractéristiques sont connues (nature de la coupure thermique, aspects dimensionnels), la valeur U_f est calculée selon l'expression F.2 (annexe F) ou est prise comme valeur par défaut extraite du Tableau F2 (annexe F)

8.2.3.2 Profilés d'encadrement métalliques sans coupure thermique

La valeur U_f pour les profilés d'encadrement métalliques sans coupure thermique est définie selon l'annexe F.2.3.

NOTE Pour la menuiserie extérieure, cette application n'est pas à conseiller en raison des faibles performances énergétiques.

8.2.4 Profilés d'encadrement en plastique

Voir NBN EN ISO 10077-1 (Annexe D.2) – Profilés d'encadrement en plastique

Pour les profilés d'encadrement en plastique dont la marque et le type sont connus, la valeur de calcul correspond à la valeur U_f déclarée par le fabricant, déterminée selon le § 8.2.1.

Si la valeur déclarée U_f n'est pas connue ou en cas de profilés d'encadrement en plastique dont seulement quelques caractéristiques sont connues (caractéristiques du matériau, type), la valeur U_f est extraite du tableau F3.

8.2.5 Détermination de la valeur U_f des profilés d'encadrement de fenêtres de toiture

Voir NBN EN ISO 10077-1 (§ 5.1) – Fenêtres et Annexe D.1 - Généralités

Dans le cas de fenêtres de toiture, la valeur U de l'encadrement (U_f) est déterminée comme suit :

- par essai conformément à la norme NBN EN 12412-2 ;
- par calcul numérique selon la norme NBN EN ISO 10077-2.

Pour les profilés d'encadrement dans les fenêtres de toiture dont la marque et le type sont connus, la valeur U_f déclarée par le fabricant est prise comme valeur de calcul.

Si la valeur U_f déclarée n'est pas connue ou pour les profilés d'encadrement dans les fenêtres de toiture dont seulement les caractéristiques sont connues (sorte de matériau, type), les valeurs de calcul U_f des tableaux de l'annexe F ne peuvent être directement reprises parce que ces tableaux ne sont valables que pour des profilés d'encadrement posés verticalement (avec $R_{si} = 0,13$). Pour les fenêtres de toiture placées horizontalement ou inclinées (sous un angle compris entre 0° et 60°), $R_{si} = 0,10$ (selon Tableau 9 – voir 8.3.2.2) et la correction suivante peut être appliquée de façon simplifiée:

$$U_{f,r} = \frac{1}{\frac{1}{U_f} - 0,03} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (29)$$

où: $U_{f,r}$ (W/m²K): la valeur corrigée U_f de l'encadrement de la fenêtre de toiture ;
 U_f (W/m²K): la valeur simplifiée U_f de l'encadrement déterminée selon les valeurs tabulaires de l'annexe F.

NOTE Les valeurs $U_{f,r}$ déterminées selon (29) sont 5 à 18% supérieures aux valeurs U_f d'un encadrement posé verticalement.

8.3 Coefficient de transmission thermique des vitrages

8.3.1 Vitrage simple

Voir NBN EN 673 (§ 5) – Formules de base

Par vitrage simple, il faut comprendre les feuilles de verre, multicouches ou non, sans lame d'air et donc non pourvues d'un intercalaire (p.e. vitrage simple, verre de sécurité feuilleté, verre pare-balles, ...)

Selon les spécifications harmonisées européennes, il faut utiliser pour un vitrage simple la valeur U_g déclarée par le fabricant. Si cette valeur est inconnue la valeur U_g du vitrage simple est calculée selon:

$$U_g = \frac{1}{R_{si} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{se}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (30)$$

dans laquelle:

- R_{si} ($\text{m}^2\text{K/W}$): résistance thermique d'échange à la surface intérieure du vitrage, déterminée selon la norme NBN EN 673 (voir Tableau 9) ;
- R_{se} ($\text{m}^2\text{K/W}$): résistance thermique d'échange à la surface extérieure du vitrage, déterminée selon la norme NBN EN 673 (voir Tableau 9) ;
- d_j (m) : l'épaisseur de la feuille de verre j ;
- λ_j (W/mK): conductivité thermique de la feuille de verre j .

8.3.2 Vitrage multiple

8.3.2.1 Détermination générale

Voir NBN EN 673, NBN EN 674 et NBN EN 675

Sous vitrage multiple il faut comprendre les feuilles de verre entre lesquelles il y a une lame d'air et qui sont munies d'un intercalaire.

Le coefficient de transmission thermique de la zone centrale d'un vitrage multiple peut être déterminé :

- sur la base d'un calcul précis conformément à la norme NBN EN 673 ;
- ou, si un calcul précis n'est pas possible, sur la base d'un essai conformément à la norme NBN EN 674 et NBN EN 675 ;

NOTE Pour les vitrages ayant une déclaration de qualité volontaire (BENOR, ATG), dont le type, l'épaisseur de la lame d'air, l'émissivité du coating sur les feuilles de verre et le degré de remplissage de gaz garanti est déclaré, la valeur U_g calculée selon la norme NBN EN 673 peut être acceptée.

8.3.2.2 Calcul du coefficient de transmission thermique U_g de la zone centrale du vitrage

Voir NBN EN 673, NBN EN 674 et NBN EN 675

Voir NBN EN ISO 10077-1 (§ 5.2) - Vitrage

Pour les vitrages multiples dont la marque et le type sont connus et qui sont conformes aux spécifications harmonisées européennes, la valeur U_g déclarée par le fabricant est utilisée comme valeur de calcul. Si la valeur U_g déclarée n'est pas connue pour des vitrages dont seules les caractéristiques sont connues (type, épaisseur de la lame d'air, coating, remplissage de gaz), la valeur de calcul U_g est reprise des valeurs tabulaires du Tableau E 1 (Annexe E).

Si certaines caractéristiques ne sont pas connues, les conventions suivantes concernant le choix des valeurs tabulaires du tableau E 1 sont d'application:

- si le remplissage de gaz n'est pas connu, la valeur U_g pour un remplissage d'air doit être utilisée ;
- si la couche de recouvrement du verre (coating) n'est pas connue, la valeur U_g pour vitrage ordinaire (sans coating) doit être utilisé ;
- si l'épaisseur de la lame d'air n'est pas connue, la plus petite épaisseur du tableau est adoptée.

Pour les vitrages multiples qui ne sont pas conformes aux spécifications harmonisées européennes, le calcul de valeur U_g est déterminé:

- soit de manière précise selon les règles de la norme NBN EN 673 (vitrages multiples avec remplissage d'air et de gaz) ;
- soit de manière simplifiée selon l'équation suivante:

$$U_g = \frac{1}{R_{si} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_j R_{s,j} + R_{se}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (31)$$

dans laquelle:

- R_{si} (m²K/W): résistance thermique d'échange à la surface intérieure de la feuille de verre intérieure, compte tenu de la pente (Tableau 9) ;
- R_{se} (m²K/W): résistance thermique d'échange à la surface extérieure de la feuille de verre extérieure, compte tenu de la pente (Tableau 9) ;
- d_j (m): épaisseur de la feuille de verre j ;
- λ_j (W/mK): conductivité thermique de la feuille de verre j ;
- $R_{s,j}$ (m²K/W): résistance thermique de la lame d'air entre les feuilles de verre, simplifiée selon les valeurs du Tableau 10 ;

Placement de la fenêtre ou du vitrage	R_{si} (m ² K/W)	R_{se} (m ² K/W)
Vertical ou posé sous un angle α (par rapport au plan horizontal) de sorte que : $90^\circ \geq \alpha \geq 60^\circ$ (flux de chaleur $\pm 30^\circ$ par rapport au plan horizontal)	0,13	0,04
Horizontal ou sous un angle α (par rapport au plan horizontal) de sorte que : $60^\circ > \alpha \geq 0^\circ$ (e.a. fenêtres de toiture) (flux de chaleur $> 30^\circ$ par rapport au plan horizontal)	0,10	0,04

Tableau 9 – Résistances thermiques d'échange à la surface intérieure et extérieure

Épaisseur de la lame d'air (mm)	Vitrage pourvu à une face d'un coating dont l'émissivité normale (ϵ_n) est égale à :					Vitrage sans coating ($\epsilon_n = 0,89$)
	$\epsilon_n = 0,05$	$\epsilon_n = 0,1$	$\epsilon_n = 0,2$	$\epsilon_n = 0,4$	$\epsilon_n = 0,8$	
6	0,222	0,211	0,191	0,163	0,132	0,127
9	0,325	0,299	0,259	0,211	0,162	0,154
12	0,423	0,377	0,316	0,247	0,182	0,173
15	0,516	0,447	0,364	0,276	0,197	0,186

Tableau 10 – Résistance thermique R_s (m²K/W) de lames d'air non ventilées dans les doubles vitrages

NOTE 1 Tableau 9 est valable pour des facteurs d'émission habituels ($\epsilon_n > 0,8$) au niveau des surfaces intérieures et extérieures des vitrages. Pour les vitrages à émissivité basse ($\epsilon_n \leq 0,8$) à la surface intérieure, la valeur R_{si} est déterminée selon les procédures de calcul de la norme NBN EN 673.

NOTE 2 Le Tableau 10 donne les valeurs de la résistance thermique R_s des lames d'air non-ventilées dans des doubles vitrages (épaisseur de la lame d'air entre 6 et 15 mm), qui sont valables sous les conditions suivantes:

- vitrages placés verticalement ou sous un angle compris entre : $90^\circ \geq \alpha \geq 60^\circ$;
- pour lames remplies d'air ;
- pour une température moyenne du vitrage de 283 K (10°C) et une différence de température de 15 K entre les surfaces extérieures des deux feuilles de verre.

NOTE 3 Pour un vitrage triple ou des vitrages non verticalement posés, les procédures de la norme NBN EN 673 sont suivies.

NOTE 4 Pour les vitrages multiples pourvus de croisillons posés sur ou entre les feuilles de verre, l'influence sur la valeur U_g peut être calculée avec précision via un calcul numérique (valeur Ψ suivant NBN EN ISO 10077-2) en fonction du type, du matériau et de la géométrie du croisillon concerné. A cause de la grande variété de cas possibles et dans le but d'obtenir une

simplification aussi grande que possible, il existe toutefois au niveau CEN un consensus pour évaluer l'influence des croisillons par une majoration forfaitaire de la valeur U_w de la fenêtre entière, déclarée par le fabricant (voir 9.2).

8.4 Coefficient de transmission thermique de panneaux opaques (U_p)

Voir NBN EN ISO 10077-1 (§ 5.1) – Fenêtres

Un panneau opaque de remplissage est un composant constitué le plus souvent de panneaux en verre, plastique ou métal des deux côtés, entre lesquels sont intercalés un autre panneau ou matériau isolant. Le coefficient de transmission thermique (U_p) de la partie centrale de ce panneau est calculé suivant les chapitres 6 et 7.

Si des panneaux feuilletés opaques thermiquement isolés sont reliés thermiquement aux bords par un intercalaire moins isolant, une valeur Ψ_p est calculée pour tenir compte de l'effet de pont thermique de la même manière qu'en cas de vitrage multiple. Dans le cas contraire $\Psi_p = 0$.

8.5 Coefficient de transmission thermique (U_r) de grilles de ventilation posées comme composant de fenêtre

Le coefficient de transmission thermique U_r d'une grille de ventilation réglable incorporée dans une fenêtre, porte ou entre ou à côté des autres composants (châssis, vitrage, panneaux), est déterminé comme suit.

- Pour les grilles de ventilation dont la marque et le type sont connus, la valeur U_r déclarée par le producteur est adoptée, laquelle est déterminée comme suit:
 - par essai selon la norme NBN EN 12412-2, où la grille de ventilation est testée en position fermée ;
 - suivant la méthode de calcul numérique de la norme NBN EN ISO 10077-2 (Annexe C) ;
- Pour les grilles de ventilation réglables inconnues, la valeur par défaut suivante peut être adoptée : $U_r = 6,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (toutes les grilles) ; si cette valeur est utilisée, il ne faut plus tenir compte de l'effet de bord (pont thermique) du raccordement entre la grille de ventilation et les composants de la fenêtre, en d'autres mots : $\Psi_r = 0$

NOTE 1 Dans les buts de conception et en cas d'aires de grilles non connues, une longueur de grille (l_r) équivalente est déterminée pour le bâtiment qui correspond au débit nominal d'arrivée d'air nécessaire pour l'ensemble. La valeur U_r par défaut peut être remplacée par le produit de la longueur de la grille (l_r) équivalente par le coefficient de transmission thermique linéaire (valeur Ψ_r), pour laquelle une valeur par défaut de $0,5 \text{ W/m.K}$ est acceptée, à condition que la hauteur ou la largeur de la grille corresponde à $0,08 \text{ m}$ au maximum.

NOTE 2 Pour les grilles murales ou de sol il est référé à 7.6.

8.6 Coefficients de transmission thermique linéiques (valeurs Ψ) des jonctions entre des composants de fenêtre

Voir NBN EN ISO 10077-1 (Annexe E) – Coefficients de transmission thermique des jonctions entre des composants de fenêtre.

Les coefficients de transmission thermique (valeurs Ψ) des jonctions entre eux ou entre les profilés d'encadrement, meneaux, vitrages, panneaux et les grilles de ventilation sont déterminés avec précision au départ d'un calcul numérique suivant la norme NBN EN ISO 10077-2 (Annexe C) ou un essai selon la norme NBN EN 12412-2. Si aucune information précise n'est connue, les valeurs de calcul Ψ utilisées sont celles qui sont mentionnées dans les tableaux de l'annexe G.

9. Détermination du coefficient de transmission thermique des fenêtres et portes en tant qu'élément de construction

9.1 Caractéristiques géométriques des fenêtres et portes

9.1.1 Aire A_w d'une fenêtre ou porte avec vitrage et/ou panneau opaque

Voir la NBN EN ISO 10077-1 (§ 4.4) – Aires de fenêtres

L'aire d'une fenêtre (ou d'une porte) A_w est la somme de l'aire A_f des profilés d'encadrement, de l'aire A_g du vitrage et/ou l'aire du panneau opaque A_p (voir Figure 15). Dans l'aire A_w est également éventuellement comprise l'aire A_r des grilles de ventilation incorporées entre, dans ou à côté des composants de fenêtre. L'aire des profilés d'encadrement A_f comprend aussi bien l'aire de l'encadrement que celle de l'ouvrant.

NOTE 1 La détermination de la valeur U_w de portes et fenêtres **individuelles** (voir 9.2 et 9.3) est basée sur les aires réelles des composants partiels **avant** l'incorporation dans le bâtiment, c.-à-d. tels que fournis par le fabricant. La détermination de la valeur $U_{w,t}$ moyenne d'un **ensemble de fenêtres** (ou portes) (voir 9.5.2) ou de la valeur $U_{w,m}$ moyenne de **toutes les fenêtres dans un bâtiment** (voir 9.5.1), est basée sur les aires des fenêtres **après** l'incorporation dans le bâtiment, c.-à-d. sur la base des ouvertures de jour (dimensions des ouvertures de fenêtre et de porte dans l'enveloppe de bâtiment, vue à partir de l'environnement extérieur).

NOTE 2 Lors de la détermination du coefficient de transfert de chaleur par transmission H_T , les pertes de transmission au travers de portes et fenêtres sont également calculée sur la base des aires des ouvertures de jour (voir 14.5.2). L'influence du raccordement des fenêtres ou portes sur les éléments de construction dans lesquels elles sont mises en place est traitée comme un pont thermique, suivant les directives de 12.

9.1.2 Aire A_f des profilés d'encadrement

Voir NBN EN ISO 10077-1 (§ 4.3) – Aire des profilés d'encadrement

Les définitions des aires des profilés d'encadrement sont données ci-dessous (voir Figure 15) :

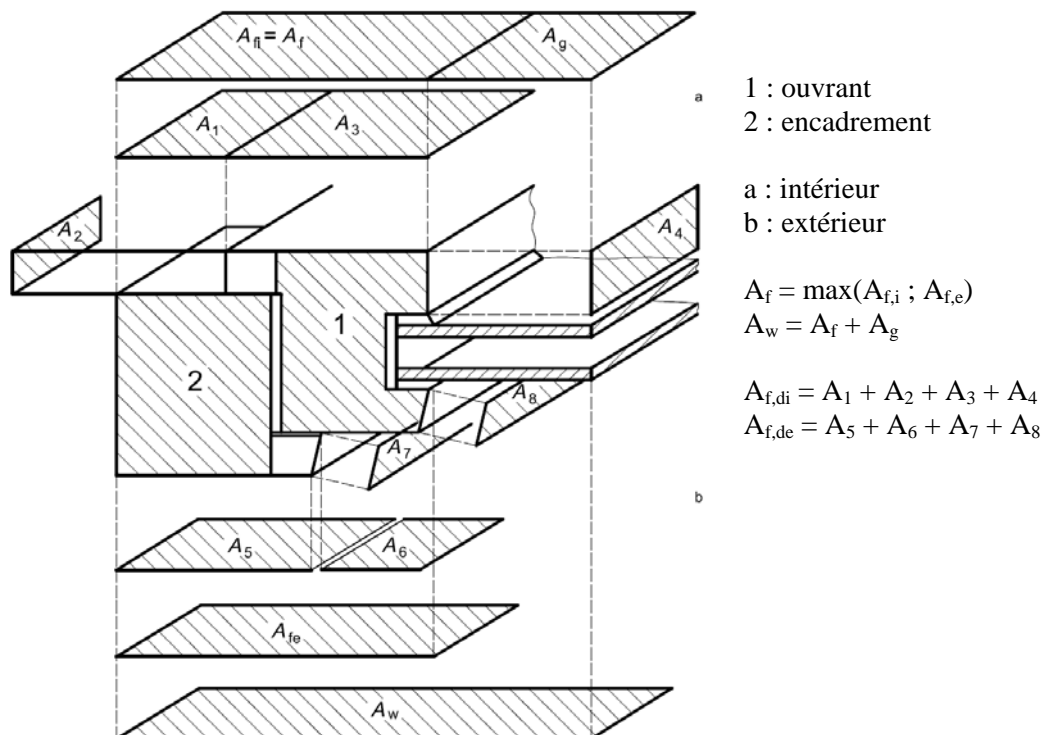


Figure 15 – Illustration des différentes aires

- $A_{f,i}$ (m^2) : aire projetée de la superficie du profilé d'encadrement du côté intérieur (égale à l'aire de la projection de l'encadrement côté intérieur, y compris l'ouvrant si présent, sur un plan parallèle au vitrage) ;
- $A_{f,e}$ (m^2) : aire projetée de la superficie du profilé d'encadrement du côté extérieur (égale à l'aire de la projection de l'encadrement côté extérieur, y compris l'ouvrant si présent, sur un plan parallèle au vitrage) ;
- A_f (m^2) : aire de l'encadrement (la plus grande des aires de profilé d'encadrement, vues des deux côtés) ;
- $A_{f,di}$ (m^2) : aire du profilé d'encadrement développée du côté intérieur (égale à l'aire du profilé d'encadrement y compris l'ouvrant si présent - voir Figure 16)
- $A_{f,de}$ (m^2) : aire de l'encadrement développée du côté extérieur (égale à l'aire de l'encadrement, y compris l'ouvrant si présent - voir Figure 16)

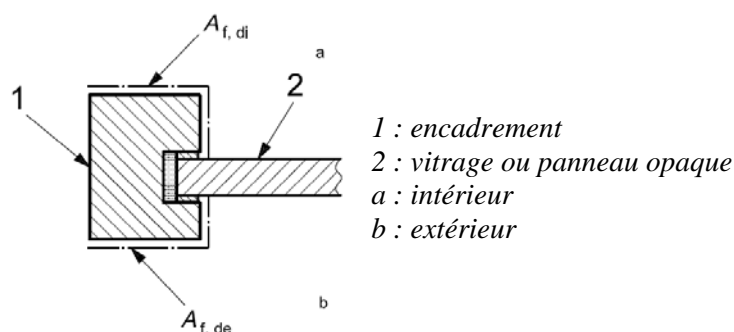


Figure 16 – Aire développée des profilés d'encadrement

9.1.3 Aire du vitrage A_g et du panneau de remplissage opaque A_p

Voir NBN EN ISO 10077-1 (§ 4.1) – Aire du vitrage et du panneau de remplissage opaque

L'aire vitrée A_g ou l'aire du panneau opaque A_p d'une fenêtre ou d'un porte est la plus petite des aires visibles, vue des deux côtés, comme illustré par la Figure 17.

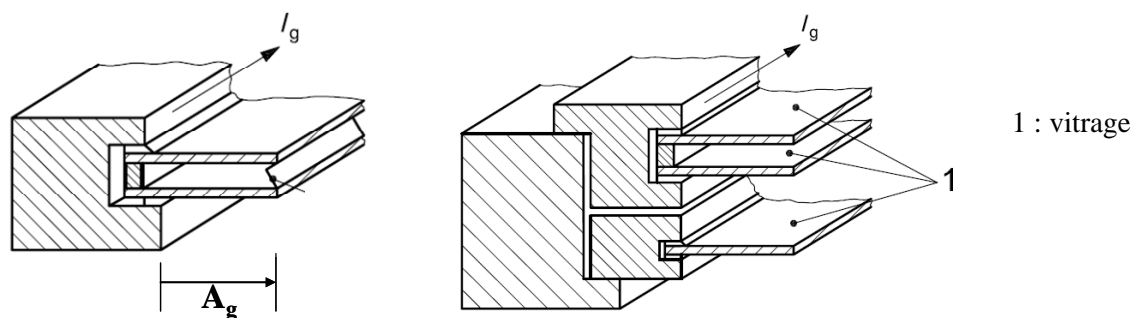


Figure 17 – Illustration de l'aire du vitrage et du périmètre

9.1.4 Périmètre visible du vitrage ou du panneau opaque

Voir NBN EN ISO 10077-1 (§ 4.2) – Périmètre total visible du vitrage

Le périmètre total du vitrage (l_g) ou du panneau opaque (l_p) est la somme des périmètres visibles des panneaux vitrés (ou des panneaux opaques) de la fenêtre ou de la porte. Si les périmètres sont différents d'un côté à l'autre (intérieur, extérieur) du vitrage ou du panneau opaque, c'est la plus grande valeur des deux qui doit être retenue (voir Figure 17).

9.1.5 Aire et périmètre visible des grilles de ventilation

9.1.5.1 Généralités

Déterminer de manière univoque l'aire d'une grille de ventilation réglable est essentiel pour la détermination de la valeur U_r d'une grille de ventilation. Conventionnellement, la grille de ventilation est considérée comme un composant de fenêtre, même si celle-ci est posée au-dessus ou à côté de l'encadrement de fenêtre. Lors de la détermination des valeurs U (de la fenêtre et de ses composants), la somme des aires de tous les composants faisant partie de la fenêtre (y compris la grille de ventilation) doit être égale à l'aire totale de la fenêtre. Pour la détermination de l'aire des grilles de ventilation il faut faire la distinction selon le type de grille de ventilation et l'emplacement où la grille est encastrée, comme expliqué ci-après.

Le périmètre visible d'une grille de ventilation est déterminé comme la longueur totale du raccordement de la grille aux composants faisant partie de la fenêtre.

NOTE Lors de la détermination des déperditions de transmission thermique (valeurs H) au travers des fenêtres, les dimensions de la baie de fenêtre sont retenues. Dans ce cas, il n'est plus tenu compte des aires visibles des composants de fenêtres dissimulés derrière le parement de façade.

9.1.5.2 Grilles de ventilation raccordées sur le vitrage ou le panneau opaque

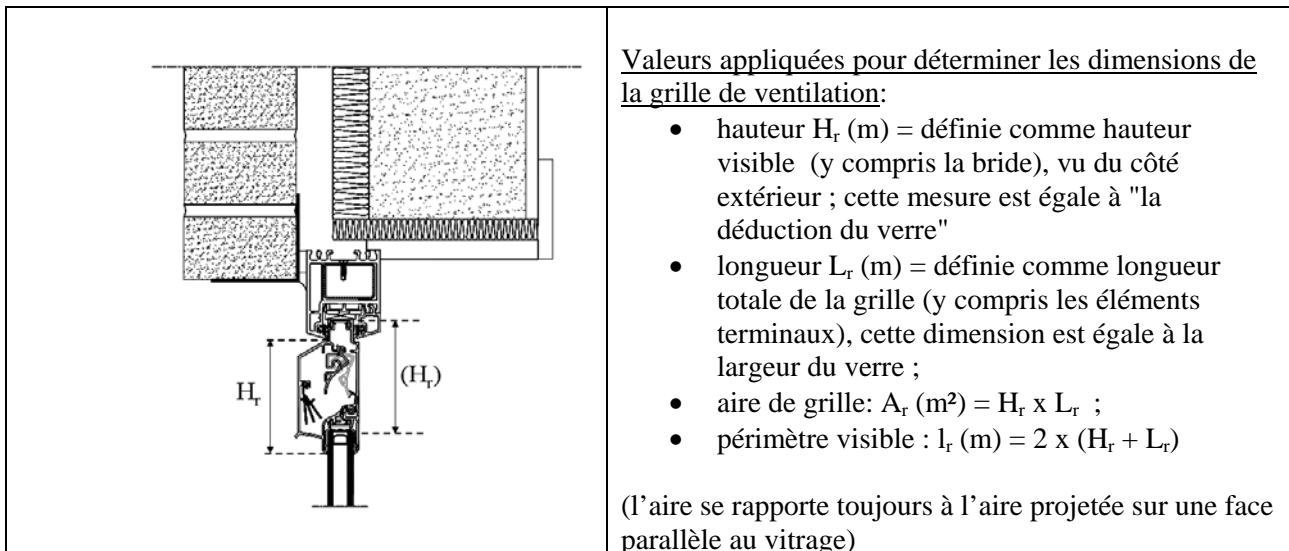


Figure 18 – Grille de ventilation raccordée au vitrage

9.1.5.3 Grilles de ventilation posées au-dessus de l'encadrement

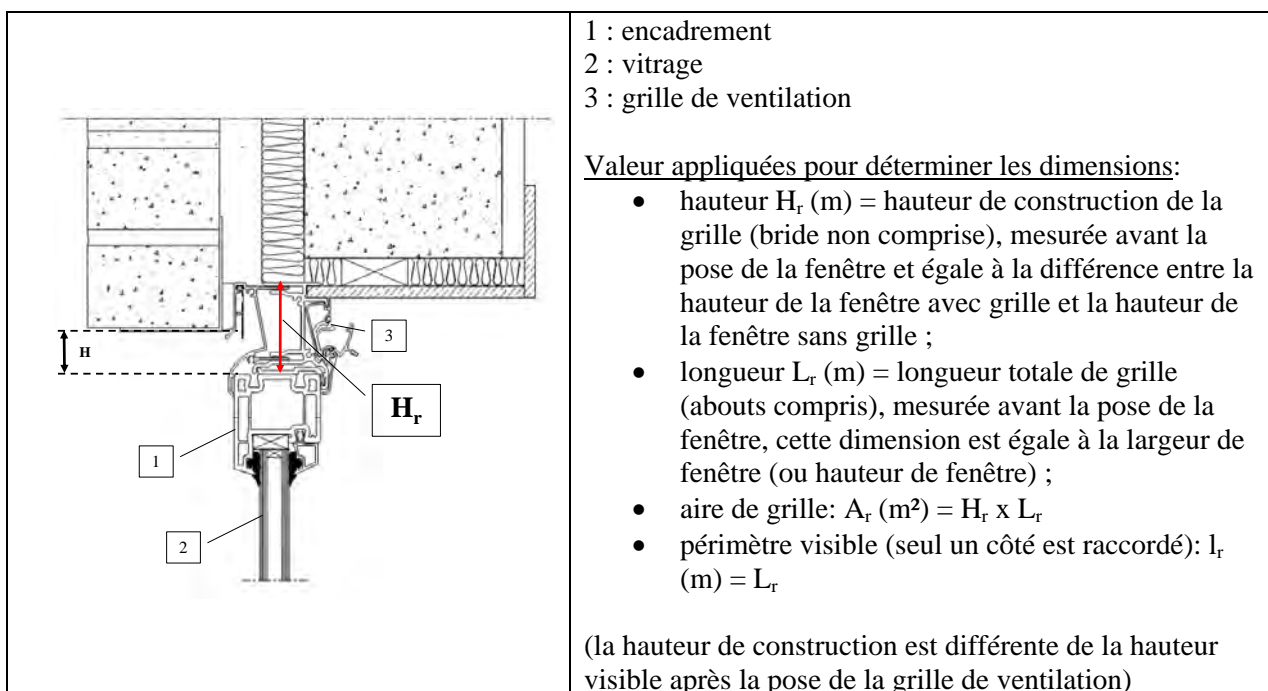


Figure 19 – Grille de ventilation posée autour de l'encadrement

9.1.5.4 Grilles de ventilation posées dans une rainure de l'encadrement

Pour les grilles de ventilation posées dans une rainure de l'encadrement, l'aire de cette grille est déterminée comme l'aire de l'ouverture de la rainure, c.-à-d. comme le produit de la hauteur de la rainure et de la longueur de la rainure.

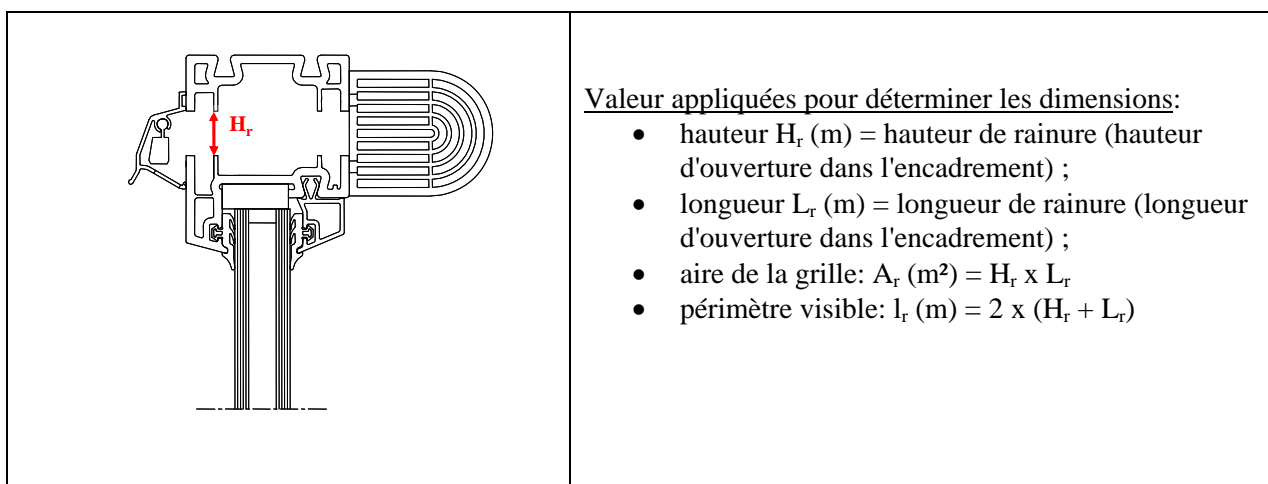


Figure 20 – Grille de ventilation posée dans une rainure dans l'encadrement

9.1.5.5 Grille de ventilation posée entre deux profilés d'encadrement

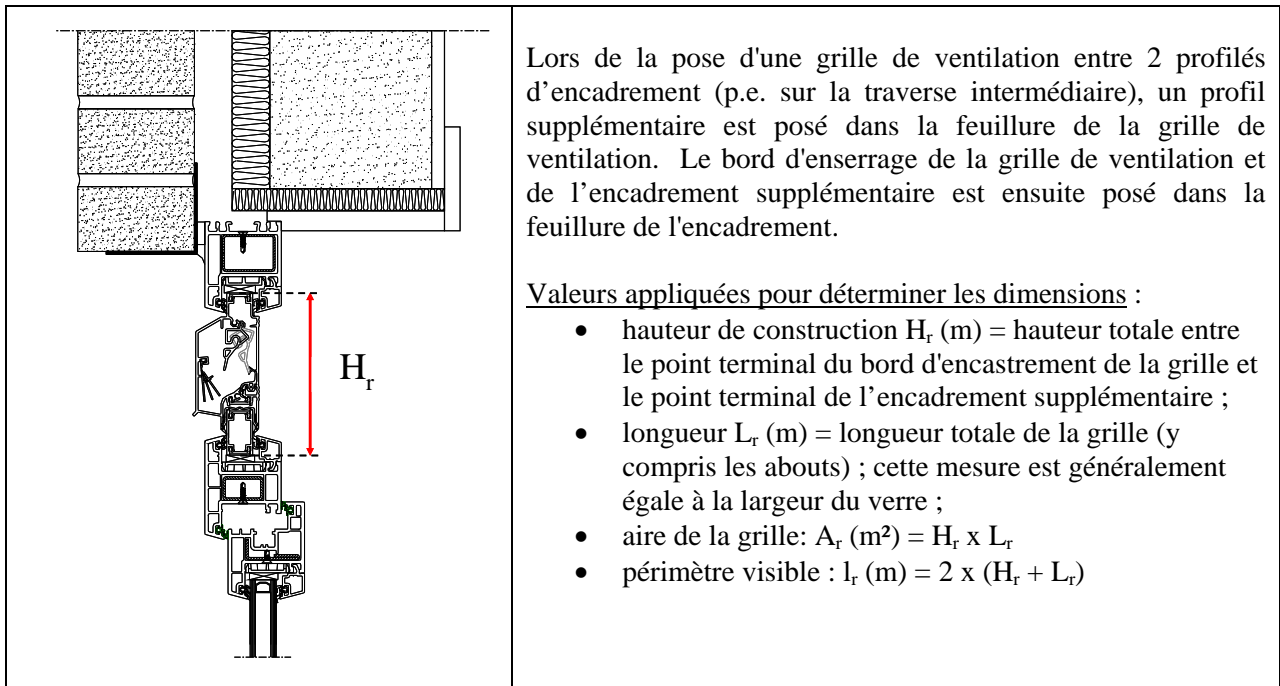


Figure 21 – Grille de ventilation posée entre deux profilés d'encadrement

9.2 Détermination générale du coefficient de transmission thermique d'une fenêtre (U_w), constituée de composants (profilés d'encadrement, vitrage)

Voir NBN EN 14351-1 (§ 4) – Caractéristiques de performance et exigences.

Le coefficient de transmission thermique d'une fenêtre (U_w), constituée de composants (profilés d'encadrement, vitrage), est déclaré par le fabricant selon les clauses de la norme NBN EN 14351-1, où les possibilités suivantes sont disponibles :

- soit par des essais (hot box) de la fenêtre entière, selon la norme NBN EN ISO 12567-1 ou NBN EN ISO 12567-2 (fenêtres de toiture) ; la valeur U_w ainsi obtenue sert de valeur de référence pour le produit ;
- soit par calcul précis sur la base des formules données par la norme NBN EN ISO 10077-1 et/ou un calcul numérique selon la norme NBN EN ISO 10077-2 et comme expliqué en détail en 9.3.1 ;
- soit d'une façon simplifiée sur la base des valeurs par défaut U_w tabulées de la norme NBN EN ISO 10077-1.

NOTE Pour les fenêtres avec vitrages multiples pourvus de croisillons posés sur ou entre les feuilles de verre, la valeur déclarée de U_w est augmentée d'une majoration forfaitaire ($\Delta U_{w,bar}$), dont les valeurs provisoires sont déterminées par le projet d'addendum NBN EN 14351-1/prA1, comme suit :

- pour croisillons collés sur les feuilles de verre : $\Delta U_{w,bar} = 0 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- pour croisillons simples placés entre les feuilles de verre : $\Delta U_{w,bar} = 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- pour croisillons multiples placés entre les feuilles de verre : $\Delta U_{w,bar} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- pour croisillons divisant les vitrages : $\Delta U_{w,bar} = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

L'utilisation de ces valeurs provisoires est admise jusqu'au moment où l'addendum précité fixera les valeurs définitives.

9.3 Détermination du coefficient de transmission thermique d'une fenêtre simple (U_w), constituée de composants (profilés d'encadrement, vitrage, panneau de remplissage opaque, grille de ventilation)

9.3.1 Détermination précise

Voir NBN EN ISO 10077-1 (§ 5.1.1) – Fenêtres simples

La fenêtre simple est constituée d'un encadrement ou d'un ouvrant dans lequel est serti un vitrage.

Plusieurs vitrages peuvent aussi faire partie d'un même encadrement ou ouvrant d'une fenêtre (voir Figure 22). Des panneaux de remplissage opaques et des dispositifs d'apport d'air (grilles de ventilation) peuvent éventuellement aussi faire partie d'une fenêtre.

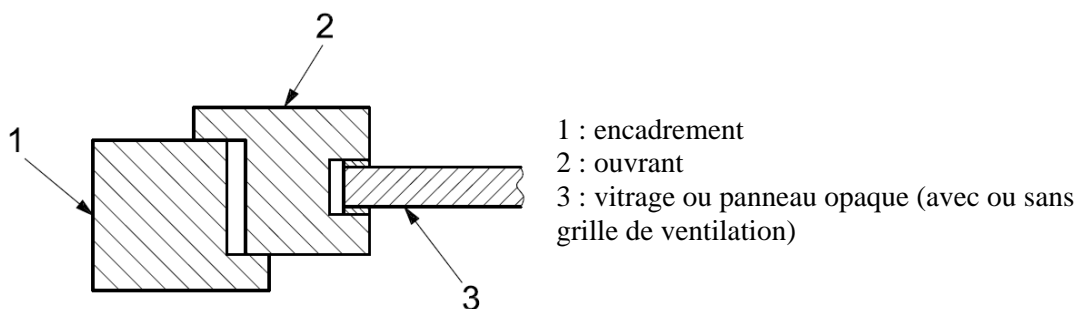


Figure 22 – Illustration d'une fenêtre simple

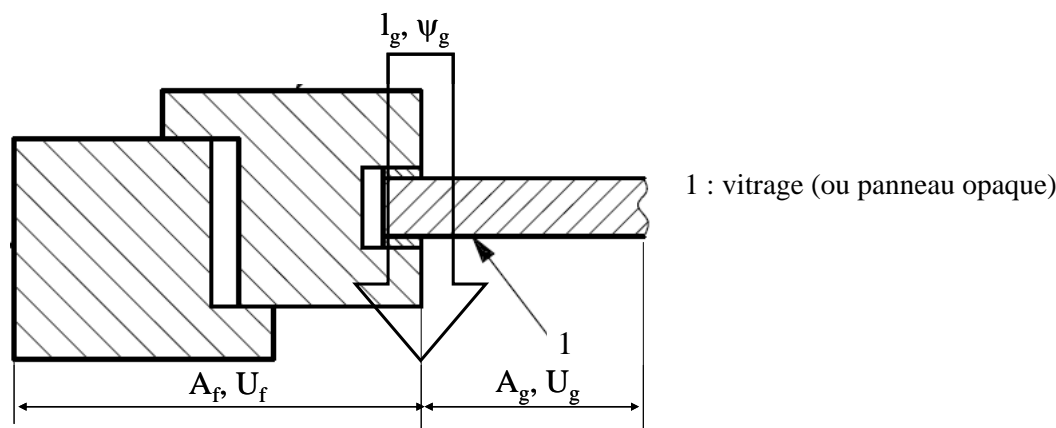


Figure 23 – Effet du vitrage, intercalaire et encadrement

Le coefficient de transmission thermique d'une fenêtre simple (U_w) qui est en tant qu'élément de bâtiment constituée de composants (profilés d'encadrement, vitrage, panneau opaque, grille de ventilation) avec leurs valeurs U et aires respectives, est généralement calculé au moyen de l'équation suivante:

$$U_w = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum A_p \cdot U_p + \sum A_r \cdot U_r + \sum l_g \cdot \Psi_{f,g} + \sum l_p \cdot \Psi_{f,p} + \sum l_r \cdot \Psi_r}{\sum A_g + \sum A_f + \sum A_p + \sum A_r} \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad (32)$$

dans laquelle:

- U_g (W/m²K): la valeur U de la partie centrale du vitrage, calculée selon le § 8.3 ;
- U_f (W/m²K): la valeur U de l'encadrement calculée selon le § 8.2 ;
- U_p (W/m²K): la valeur U du panneau opaque opaque calculée selon le § 8.4 ;
- U_r (W/m²K): la valeur U de la grille de ventilation, calculée selon le § 8.5 ;
- A_g (m²): l'aire du vitrage, déterminée selon le § 9.1.3 ;
- A_f (m²): l'aire de l'encadrement, déterminée selon le § 9.1.2 ;
- A_p (m²): l'aire du panneau opaque, déterminée selon le § 9.1.3 ;
- A_r (m²): l'aire de la grille de ventilation, déterminée selon le § 9.1.5 ;

- $\Psi_{f,g}$ (W/mK): le coefficient de transmission thermique linéique tenant compte des effets combinés du vitrage, de l'intercalaire et de l'encadrement (voir Figure 23), déterminé selon le § 8.6 et/ou annexe G ;
- $\Psi_{f,p}$ (W/mK): le coefficient de transmission thermique linéique tenant compte des effets combinés de panneau opaque, de l'intercalaire et de l'encadrement, déterminé selon le § 8.6 et/ou annexe G ;
- Ψ_r (W/mK): le coefficient de transmission thermique linéique tenant compte des effets combinés de la grille de ventilation, de l'intercalaire et de l'encadrement, déterminé selon le § 8.6 et/ou annexe G ;
- l_g (m): le périmètre visible du vitrage, déterminé selon le § 9.1.4 ;
- l_p (m): le périmètre visible du panneau opaque, déterminé selon le § 9.1.4 ;
- l_r (m): le périmètre visible de la grille de ventilation, déterminé selon le § 9.1.5 ;

NOTE 1 Dans le cas du vitrage simple, le terme ($l_g \cdot \Psi_{f,g}$) de l'équation (32) disparaît puisque l'effet de l'intercalaire est inexistant. Le terme $l_p \cdot \Psi_{f,p}$ disparaît également dans le cas d'un panneau opaque sans intercalaire entre le revêtement extérieur et intérieur.

NOTE 2 L'équation (32) peut aussi être utilisée pour les fenêtres constituées de composants (profilés d'encadrement, vitrage, panneaux opaque, grille) de types divers (ayant une valeur U et une aire propre). Dans ce cas, les termes du dénominateur et du numérateur sont à interpréter comme la somme des composants correspondants (p.e. $\sum A_f \cdot U_f$, $\sum A_f$) ou comme l'aire pondérée moyenne de ces composants.

NOTE 3 Une détermination simplifiée de la valeur U d'un ensemble de fenêtres peut être adoptée en respectant les conditions données en 9.5.

9.3.2 Cas spécifiques

9.3.2.1 Valeur U des doubles fenêtres

Voir NBN EN ISO 10077-1 (§ 5.1.2) – Doubles fenêtres

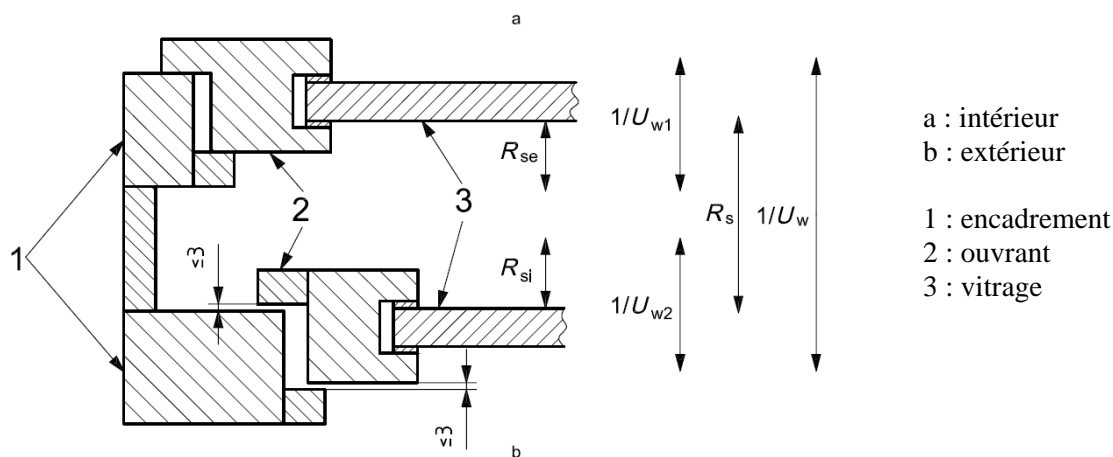


Figure 24 – Illustration d'une double fenêtre

La valeur U_w d'une double fenêtre, c.-à-d. un système où deux ouvrants séparés sont placés en parallèle dans un seul et même encadrement (voir Figure 24), est calculée de manière suivante:

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - R_{se} + R_s + \frac{1}{U_{w2}} - R_{si}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (33)$$

où:

- U_{w1} et U_{w2} (W/m²K): les valeurs U respectives de la fenêtre du côté intérieur et de la fenêtre du côté extérieur, calculée selon l'équation (32) ;
- R_{si} (m²K/W): la résistance thermique d'échange à la surface intérieure de la fenêtre du côté extérieur, suivant Tableau 9 ;

- R_{se} (m²K/W): la résistance thermique d'échange à la surface extérieure de la fenêtre du côté intérieur, suivant Tableau 9 ;
- R_s (m²K/W): la résistance thermique de la lame d'air comprise entre les deux fenêtres, déterminée selon le Tableau 11.

Dans le Tableau 11, des valeurs sont données de la résistance thermique R_s de lames d'air non ventilées (épaisseur comprise entre 50 et 300 mm) qui apparaissent entre les fenêtres doubles ou en cas de fenêtres à vantaux dédoublés (voir 9.3.2.2).

Épaisseur de la lame d'air (mm)	Vitrage pourvu sur une face d'un coating à émissivité normale (ϵ_n) égale à:				Vitrage sans coating ($\epsilon_n = 0,89$)
	$\epsilon_n = 0,1$	$\epsilon_n = 0,2$	$\epsilon_n = 0,4$	$\epsilon_n = 0,8$	
50	0,406	0,336	0,260	0,189	0,179
100	0,376	0,315	0,247	0,182	0,173
300 (1)	0,333	0,284	0,228	0,171	0,163

(1) Pour des épaisseurs plus importantes, la valeur R_s doit être déterminée sur la base des méthodes de calcul de la norme ISO 15099, d'un calcul numérique ou de tests.

Tableau 11 – Résistance thermique R_s (m²K/W) de lames d'air non ventilées dans le cas de fenêtres doubles ou de fenêtres à vantaux dédoublés

NOTE La méthode n'est pas d'application si l'espace entre les deux fenêtres est ventilée par de l'air extérieur à la suite de trop grandes fentes d'air (inétanchéités) au niveau des raccordements de la fenêtre extérieure. A cette fin, les fentes d'air ne peuvent pas être supérieures à 3 mm (voir Figure 24), sinon la méthode de calcul pour les couches d'air fortement ventilées est appliquée (voir 5.4.3.4), c.-à-d. que $U_w = 1/(1/U_{w1} - R_{se} + R_{si})$.

9.3.2.2 Valeur U des fenêtres à vantaux dédoublés

Voir NBN EN ISO 10077-1 (§ 5.1.3) – Fenêtres à vantaux dédoublés

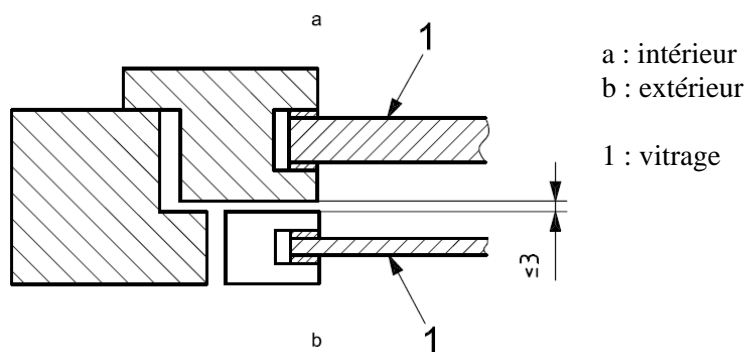


Figure 25 - Illustration d'une fenêtre à vantaux dédoublés

La valeur U_w d'une fenêtre à vantaux dédoublés constitué d'un encadrement et de deux vantaux séparés amovibles (avec vitrages) et parallèles (voir Figure 25), peut être calculée selon l'équation (32), mais dans laquelle la valeur combinée U_g des deux vitrages est calculée suivant:

$$U_g = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{se} + R_s + \frac{1}{U_{g2}} - R_{si}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (34)$$

où:

- U_{g1} et U_{g2} (W/m²K): les valeurs U respectives du vitrage du côté extérieur et du vitrage du côté intérieur, calculées suivant 8.3.1 (vitrage simple) et/ou 8.3.2 (vitrage multiple) ;
- R_{si} (m²K/W): la résistance thermique d'échange à la surface intérieure du vitrage du côté extérieur, déterminée suivant Tableau 9 ;

- R_{se} (m^2K/W): la résistance thermique d'échange à la surface extérieure du vitrage du côté intérieur, déterminée suivant Tableau 9 ;
- R_s (m^2K/W): la résistance thermique de la lame d'air comprise entre les deux vitrages, déterminée suivant le Tableau 10 (lames d'air < 50 mm) ou le Tableau 11 (lames d'air ≥ 50 mm).

NOTE Lorsque la fente d'air entre les deux profilés d'encadrement des cadres ouvrants est plus grande que 3 mm et qu'aucune mesure n'est prise pour éviter une ventilation excessive par l'air extérieur entre les deux vitrages, la méthode n'est plus d'application. Dans ce cas la méthode de calcul pour une couche d'air fortement ventilée est appliquée (voir 5.4.3.4), c.-à-d. que $U_g = 1/(1/U_{g1} - R_{se} + R_{si})$.

9.4 Valeur U des fenêtres dans le cas de volets ou stores fermés

9.4.1 Généralités

Les fenêtres ou ouvertures de fenêtres peuvent être munies de volets ou de stores pouvant aussi bien être posés du côté intérieur ou extérieur de la fenêtre. Quand les volets ou les stores sont fermés, deux résistances thermiques supplémentaires sont créées.

- d'une part par le volet ou le store même, dépendant de la nature ou de la composition ;
- d'autre part par la lame d'air comprise entre la fenêtre et le volet ou le store, dépendant de la perméabilité à l'air et des fentes d'air autour du volet.

La manière de déterminer le coefficient de transmission thermique global d'une fenêtre, compte tenu des volets ou stores fermés, est indiquée dans les chapitres suivants.

9.4.2 Valeur U des fenêtres avec des volets ou stores fermés

Voir la norme NBN EN ISO 10077-1 (§ 5.3) – Fenêtre à volets fermés

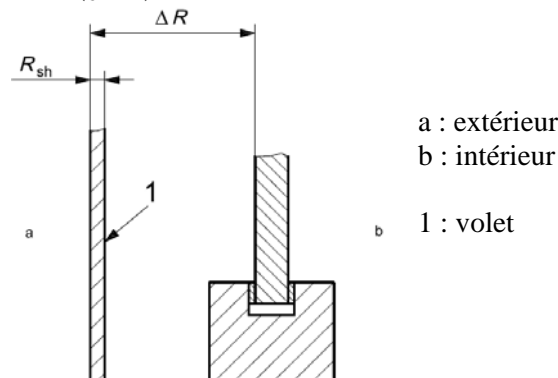


Figure 26 – Fenêtre avec volet fermé

Les volets (stores) à l'extérieur d'une fenêtre créent une résistance thermique supplémentaire (ΔR) qui correspond à la somme de la résistance thermique du volet lui-même (R_{sh}) et de la lame d'air comprise entre le volet et la fenêtre (R_s) (voir Figure 26). Le coefficient de transmission thermique total U_{ws} de la combinaison fenêtre et volet fermé est donnée par:

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \quad W/m^2K \quad (35)$$

où:

- U_w (W/m^2K): valeur U de la fenêtre, calculée selon (32) ;
- ΔR (m^2K/W): résistance thermique supplémentaire, déterminée selon le § 9.4.3.

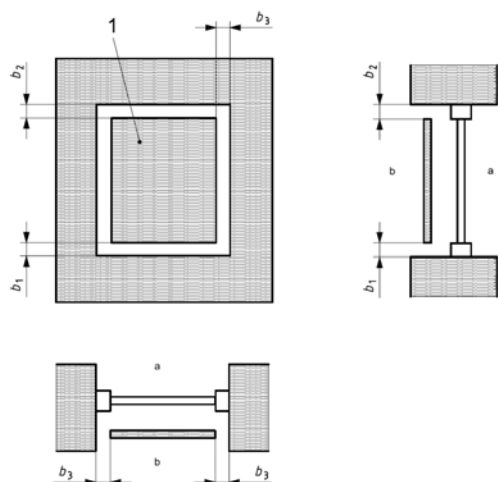
9.4.3 Résistance thermique supplémentaire dans le cas de volets (roulants)

Voir NBN EN ISO 10077-1 (Annexe G) – Résistance thermique additionnelle pour fenêtres avec volets fermés

Voir NBN EN ISO 10077-1 (Annexe H) – Etanchéité à l'air des volets

La résistance thermique additionnelle ΔR dont on doit tenir compte pour chiffrer l'effet des volets fermés (à panneaux fixes ou volets roulants) est déterminée en fonction de la perméabilité à l'air des volets utilisés.

Cinq classes de perméabilité à l'air ont été définies à cet effet selon les critères du Tableau 12 et les définitions dans la Figure 27.



a : intérieur
b : extérieur
1 : volet

Les critères relatifs à la perméabilité à l'air sont exprimés par b_{sh} , qui est défini comme la fente totale effective entre les bords du volet et les bords de la baie de la fenêtre :

$$b_{sh} = b_1 + b_2 + b_3 \text{ (mm)}$$

Dans ce cas, b_1 , b_2 et b_3 sont la moyenne des fentes en bas, en haut et à côté du volet (voir Figure 27).

La fente sur le côté du volet (b_3) n'est comptée qu'une seule fois parce les fentes situées dans le haut et dans le bas ont une plus grande influence.

Figure 27 – Caractéristiques des ouvertures à l'air autour des volets ou stores fermés

Classe	Perméabilité à l'air du volet en position fermée	b_{sh} (mm)	ΔR (m ² K/W) (1)
1	Perméabilité très élevée	$b_{sh} \geq 35$	0,08
2	Perméabilité élevée (le volet est lui-même étanche à l'air)	$15 \leq b_{sh} < 35$	$0,25 \cdot R_{sh} + 0,09$
3	Perméabilité moyenne (le volet est lui-même étanche à l'air)	$8 \leq b_{sh} < 15$	$0,55 \cdot R_{sh} + 0,11$
4	Perméabilité faible (le volet est lui-même étanche à l'air)	$b_{sh} < 8$	$0,80 \cdot R_{sh} + 0,14$
5	Perméabilité très faible (le volet est lui-même étanche à l'air)	$b_{sh} \leq 3$ et $b_1 + b_3 = 0$ ou $b_2 + b_3 = 0$ (2) (3)	$0,95 \cdot R_{sh} + 0,17$

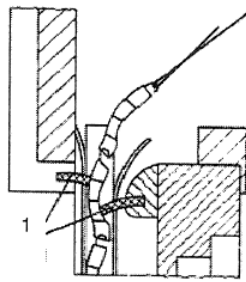
(1) Les valeurs ΔR sont valables pour $R_{sh} < 0,3$ m²K/W (R_{sh} est la résistance thermique du volet même, déterminée selon chapitre 6 dans le cas où le volet est composé d'un matériau homogène, selon la norme NBN EN ISO 10211 dans le cas d'un volet à composition hétérogène ou selon EN ISO 10077-2 dans le cas d'un élément profilé). Pour des volets inconnus il y a lieu de négliger la résistance : $R_{sh} = 0$ m²K/W.

(2) Ce cas suppose la présence de joints de fermeture autour d'au moins trois côtés du volet et que la largeur de la fente restante reste inférieure ou égale à 3 mm

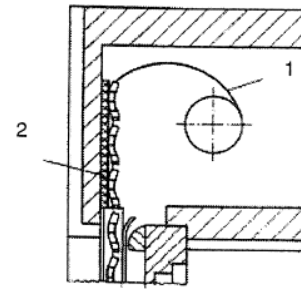
(3) La classe 5 (perméabilité très faible) peut également être adoptée si une mesure du débit d'air au travers du volet fermé démontre que ce débit d'air n'est pas supérieur à 10 m³/h.m² (avec différence de pression de 10 Pa – essai selon la norme NBN EN 12835). Des conditions supplémentaires pour la classe 5 peuvent être trouvées dans la norme NBN EN 13125 par type de volet.

Tableau 12 – Résistance thermique additionnelle des couches d'air entre les fenêtres et les volets (roulants) fermés

En ce qui concerne la perméabilité à l'air dans le cas de volets roulants, la classe 5 peut être obtenue si des bandes d'étanchéité sont présentes dans les glissières ($b_3=0$), si la fermeture dans le bas s'enclenche dans un profilé ($b_1=0$) et/ou s'il y a une étanchéité à l'entrée de la caisse de volet ($b_2=0$ – voir exemples dans la Figure 28).



1 : jointage avec brosses



1 : ressort – 2 : bande d'étanchéité

Figure 28 – Possibilités de calfeutrage des caisses de volet

9.4.4 Résistance thermique additionnelle dans le cas de stores

Voir la norme NBN EN 13125 (§ 5) – Stores posés à l'extérieur, l'intérieur ou dans le vitrage.
 Pour les pare-soleil, les jalousies, les persiennes, les stores vénitiens,... confectionnés en tissu ou constitués de lamelles ou d'autres matériaux souples ou flexibles et qui peuvent être placés des côtés interne ou externe des fenêtres ou qui sont intégrés dans un vitrage multiple, les conditions de classe de perméabilité à l'air ainsi que les valeurs ΔR correspondantes, sont données dans le Tableau 13.

Le critère pour déterminer la perméabilité à l'air des stores (P_e en mm) est non seulement déterminé par l'ouverture totale des fentes autour des stores b_{sh} (voir 9.4.3), mais également par la perméabilité à l'air des stores eux-mêmes.

Classe	Perméabilité à l'air de stores, posés dans l'environnement extérieur	P_e (mm) (1)	ΔR (m ² K/W)
1	Perméabilité à l'air très élevée	$P_e \geq 35$	0,08
2	Perméabilité à l'air moyenne	$8 \leq P_e < 35$	0,11
3	Perméabilité à l'air faible	$P_e < 8$	0,14
Classe	Perméabilité à l'air de stores, posés dans l'environnement intérieur ou intégrés dans le vitrage	P_e (mm) (1)	ΔR (m ² K/W)
1	Perméabilité à l'air très élevée	$P_e \geq 80$	0,08 (2)
2	Perméabilité à l'air moyenne	$20 \leq P_e < 80$	0,11
3	Perméabilité à l'air faible	$P_e < 20$	0,14
(1)	$P_e = b_{sh} + 10.p$ (mm)		
avec:	p (%) = rapport entre l'aire totale des ouvertures dans le store et l'aire totale du store lui-même (valeur par défaut pour les stores à lamelles: $p = 4$ %) (pour les stores exécutés comme toile, p est déterminé expérimentalement – voir la norme NBN EN 13125)		
(2)	les pare-soleil à lamelles verticales appartiennent toujours à la classe 1		

Tableau 13 – Résistance thermique additionnelle des lames d'air entre les fenêtres et les stores

NOTE 1 Les valeurs de ΔR dans le Tableau 13 sont applicables pour les stores placés entre les feuilles de verre à condition qu'il ne subsiste de chaque côté du store concerné une lame d'air libre d'au moins 12 mm jusqu'aux faces intérieures du vitrage.

NOTE 2 Si le store est pourvu d'une couche réfléchissante (à émissivité faible) dirigée vers le vitrage lors de la pose dans l'environnement intérieur, les valeurs de ΔR dans le Tableau 13 doivent être multipliées par un facteur k qui tient compte de cette émissivité ε , déterminée selon la norme NBN EN 673 : $k = 1 + 1,54.(1 - \varepsilon/0,9)^2$ (pour stores dans l'environnement intérieur) et $k = 1 + 2.(1 - \varepsilon/0,9)^2$ (pour stores intégrés dans le vitrage).

9.4.5 Classes minimales d'étanchéité à l'air

Classe minimale d'étanchéité à l'air	Produit
1	Stores avec lamelles orientables / stores pliants
2	Volets ou stores avec lamelles assemblées ou parties pliantes, sans fermeture ou fermeture étanche
3	Volets ou stores avec lamelles assemblées ou parties pliantes, avec fermeture ou fermeture étanche
4	Volets avec fermeture étanche

Tableau 14 – Classes minimales d'étanchéité à l'air (sans preuve)

La classification de la perméabilité à l'air des volets (roulants) du Tableau 12 peut également se faire sans preuve (= détermination de b_{sh}) par l'acceptation d'une classe minimale pour certains cas types de volets et stores. Cette classification minimale est donnée au Tableau 14.

9.4.6 Coffres de volets roulants et caissons de stores ou de protection

9.4.6.1 Valeur U des coffres de volets roulants

Voir la norme NBN EN 12412-4 et NBN EN ISO 10077-2

Les coffres de volets roulants (ainsi que les caissons de stores ou de protection) présentent une grande diversité relative à la fabrication (forme et matériaux), l'isolation thermique des parois, la pose (du côté intérieur ou extérieur de la fenêtre) et les possibilités de ventilation qui résultent des ouvertures par lesquelles le volet glisse (voir Figure 29).

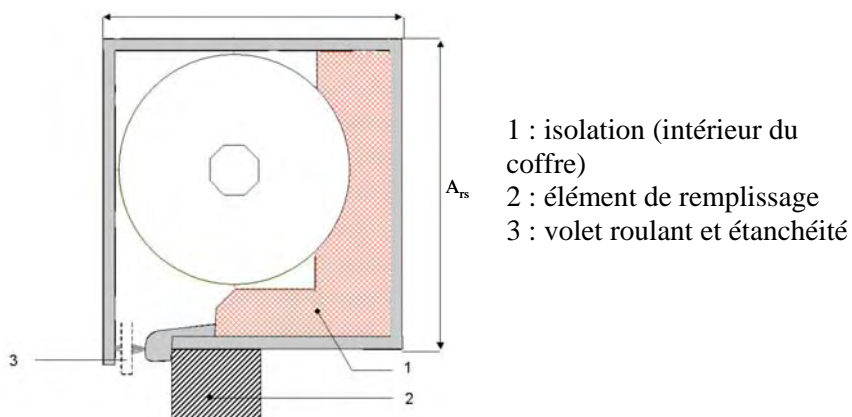
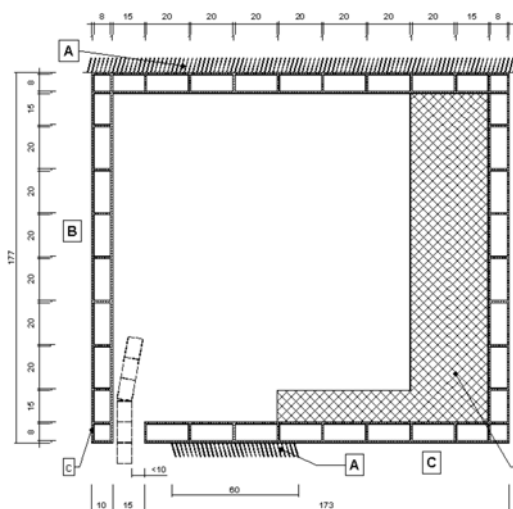


Figure 29 – Composants d'un coffre de volet roulant

La valeur U_{rs} d'un coffre de volet roulant est déclarée par le fabricant sur la base :

- de la méthode d'essai de la norme NBN EN 12567-1 (boîte chaude) et les règles décrites dans la norme NBN EN 12412-4 ; cette méthode d'essai ne tient pas compte de la ventilation possible dans le coffre ;
- de la méthode de calcul numérique décrite dans la norme NBN EN ISO 10077-2, qui offre la possibilité de tenir compte de la ventilation du coffre ; un exemple de modélisation avec conditions aux limites est montré dans la Figure 30.



Conditions aux limites :

A : adiabatique (pas de transfert de chaleur)

B : extérieur (0°C)

C : intérieur (20°C)

a : isolation ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$)

c : profilé en PVC ($\lambda = 0,17 \text{ W/mK}$)

Coffre de volet roulant ventilé moyennement (ouverture de l'orifice < 10 mm)

Résultat :

$U_{rs} = 1,03 \text{ W/m}^2\text{K}$

Figure 30 – Modélisation coffre de volet roulant (exemple) selon la norme NBN EN ISO 10077-2

Les valeurs U_{rs} obtenues sur la base des deux méthodes précitées, sont valables dans des conditions stationnaires et sont relatées à l'aire projetée A_{rs} , vue du côté intérieur du coffre (voir Figure 29).

9.4.6.2 Influence des coffres de volets roulants sur le transfert de chaleur

Voir EN 13125 – § 6 (présence de coffres de volets)

La valeur U_{rs} d'un coffre de volet roulant est peu directement utilisable, car le coffre est souvent entièrement ou partiellement intégré dans un élément de façade, provoquant ainsi un flux de chaleur complexe qui ne correspond plus avec la transmission de chaleur correspondante à la valeur U_{rs} .

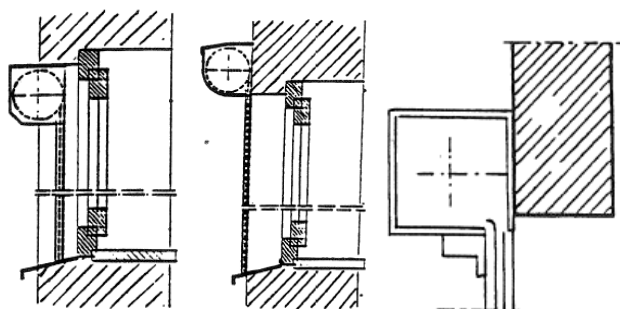


Figure 31 – Incorporation des coffres de volets du côté extérieur de la fenêtre ou de la façade

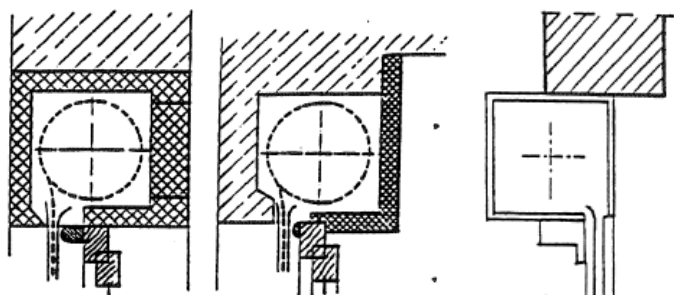


Figure 32 – Incorporation de coffres de volets dans la maçonnerie (à gauche), derrière la façade extérieure (au milieu) ou dans la menuiserie (à droite)

L'influence des coffres de volets roulants sur la transmission thermique entre l'environnement intérieur et extérieur peut dès lors être prise en compte d'une façon simplifiée en considérant le coffre de volet roulant comme un pont thermique linéaire (avec un coefficient de transmission thermique linéique Ψ et une longueur l), qui sert comme supplément aux pertes de chaleur par transmission de l'élément de façade dans lequel le coffre de volet est incorporé.

L'on distingue les cas suivants:

- le coffre de volet est situé du côté extérieur de la fenêtre ou de la façade (Figure 31): dans ce cas, l'influence du coffre de volet lui-même est négligé ;
- le coffre de volet est situé dans la maçonnerie (avec une paroi exposée directement à l'environnement extérieur) ou derrière la façade extérieure (Figure 32, à gauche et au milieu): dans ce cas, le coffre de volet est considéré comme faisant partie de l'élément de façade dans lequel est situé la fenêtre et il est intégré comme pont thermique (avec une valeur Ψ et longueur) dans les pertes de chaleur par transmission à travers l'élément de façade concerné.
- le coffre de volet est incorporé dans la menuiserie (Figure 32, à droite): dans ce cas, le coffre de volet est considéré comme faisant partie de l'encadrement (profilé), pour lequel une valeur équivalente Ψ et une longueur correspondante peuvent être prises en compte dans le calcul de la valeur U_w de la fenêtre (comme pour une grille de ventilation - voir 8.5).

La majoration comme pont thermique linéaire (avec une valeur Ψ et une longueur) est calculé de manière numérique selon la norme NBN EN ISO 10211 et sur la base de la modélisation de la norme NBN EN ISO 10077-2.

Les règles suivantes relatives à la ventilation du coffre de volet sont en application (voir Figure 33) :

- si l'ouverture de fente (restant libre) du côté inférieur du coffre de volet (distance b dans la Figure 33) est supérieure à 2 mm et ne dépasse pas 10 mm, l'espace intérieur du coffre de volet est considéré comme lame d'air moyennement ventilée ;
- si l'ouverture de fente restant libre est supérieure à 10 mm ; l'espace intérieur du coffre à volet est considéré comme étant fortement ventilé, c.-à-d. comme un espace exposé à l'environnement extérieur et la transmission thermique doit, dans ce cas, être calculée avec une résistance thermique d'échange ($R_{se} = 0,04$) à la hauteur de toutes les aires intérieures du coffre de volet.



Figure 33 – Ventilation du coffre de volet

NOTE Les stores et les écrans sont généralement pourvus d'une latte de lest servant à tendre suffisamment la toile. C'est la raison pour laquelle la fente (b) variera selon la position levée ou baissée de la toile. Pour déterminer la ventilation du caisson de store ou de protection, conventionnellement la plus grande ouverture de fente est prise en compte (store ou protection en position baissée).

S'il n'y pas d'information spécifique connue concernant les coffres de volet, les valeurs par défaut suivantes peuvent être appliquées pour des coffres de volet incorporés dans une maçonnerie:

Pose du coffre de volet roulant	Isolation des parois du coffre de volet roulant (4)	Ψ (W/mK) (1)	
		moyennement ventilé (2)	fortement ventilé (3)
Touchant à l'environnement extérieur	Pas isolé	0,34	1,10
	1 paroi isolée (contre linteau)	0,19	0,90
	3 parois isolées		0,40
Incorporé derrière façade	Pas isolé	0,30	1,50
	1 paroi isolée (contre linteau)	0,18	1,10
	3 parois isolées		0,45
(1)	Valeur Ψ à additionner à la transmission thermique au travers de l'élément de façade dans lequel le coffre de volet se trouve en tant que produit de la valeur Ψ avec la longueur (l) du coffre de volet ;		
(2)	fente restante du côté inférieur du coffre de volet: $2 < b \leq 10$ mm		
(3)	fente restante du côté inférieur du coffre de volet: $b > 10$ mm		
(4)	condition pour la couche d'isolation: $R_{\text{isol}} \geq 0,5$ m ² K/W		

Tableau 15 – valeurs Ψ par défaut pour coffres de volet roulant

9.5 Détermination de la valeur U_w moyenne d'un ensemble de fenêtres

9.5.1 Valeur moyenne U_w pondérée par les aires de l'ensemble de fenêtres

En général, la valeur moyenne U pondérée par les aires de l'ensemble de fenêtres peut être déterminée suivant:

$$U_{w,m} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{wd,i} U_{w,i} + \sum_j^m A_{wd,T,j} U_{w,T,j}}{\sum_{i=1}^n A_{wd,i} + \sum_j^m A_{wd,T,j}} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (36)$$

où:

- $U_{w,m}$ (W/m²K): la valeur moyenne U_w - pondérée par les aires d'un ensemble de fenêtres dans le bâtiment ;
- $U_{w,i}$ (W/m²K): la valeur U_w de la fenêtre i, déterminée avec précision selon le § 9.3 ;
- $A_{wd,i}$ (m²): l'aire de la fenêtre i, déterminé sur la base des dimensions de la baie ;
- $U_{w,T,j}$ (W/m²K): la valeur moyenne $U_{w,T}$ d'un ensemble de fenêtres j avec les mêmes caractéristiques, déterminée de façon simplifiée selon le § 9.5.2 ;
- $A_{wd,T,j}$ (m²): l'aire totale de l'ensemble de fenêtres j avec les mêmes caractéristiques, déterminée sur la base des dimensions de leurs baies.

NOTE L'équation (36) permet de calculer une valeur moyenne U_w pondérée par les aires en tant que combinaison de fenêtres calculées individuellement (avec des caractéristiques propres) et des fenêtres calculées par groupes (avec des caractéristiques communes). Dans le cadre de réglementations, cette équation peut servir pour le contrôle de certaines exigences.

9.5.2 Détermination de la valeur moyenne $U_{w,T}$ simplifiée d'un ensemble de fenêtres ayant la même combinaison de vitrage et de profilé d'encadrement

Pour chaque ensemble de fenêtres présent dans un bâtiment et ayant la même combinaison de profilé d'encadrement et vitrage, lesquels en d'autres mots, ne diffèrent entre eux seulement que par les dimensions et l'agencement des châssis, une valeur simplifiée $U_{w,T}$ peut être déterminée. Concernant le vitrage, celle-ci part d'un rapport moyen entre le périmètre et l'aire du vitrage et d'un rapport d'aire moyen adopté entre vitrage et profilés d'encadrement.

$U_{w,T}$ est calculée suivant l'équation (37) ou (38), dans la mesure où la valeur U du vitrage (U_g) est supérieure ou non à celle de l'encadrement et dans laquelle les trois termes suivants sont représentés chaque fois:

NBN B 62-002 (2008)

- un terme fixe qui décrit les pertes par transmission thermique pour le vitrage et l'encadrement, sous les conditions décrites ci-avant quant au périmètre et à l'aire du vitrage ;
- un terme complémentaire qui détermine l'apport d'éventuelles grilles de ventilation ;
- un deuxième terme complémentaire qui détermine l'apport d'éventuels panneaux opaques.

	Terme fixe pour vitrage et encadrement (Valeurs tabulaires de l'annexe D)	Terme complémentaire pour grilles de ventilation (si $U_r > U_g$ et/ou U_f)	Terme complémentaire pour panneaux opaques (si $U_p > U_g$ et/ou U_f)
$U_g \leq U_f$	$U_{w,T} = 0,7.U_g + 0,3.U_f + 3.\Psi_{f,g}$ (W/m ² K) (37)	$+ \Sigma A_r.(U_r - U_g) / \Sigma A_{wd}$	$+ \Sigma A_p.(U_p - U_g) / \Sigma A_{wd}$
$U_g > U_f$	$U_{w,T} = 0,8.U_g + 0,2.U_f + 3.\Psi_{f,g}$ (W/m ² K) (38)	$+ \Sigma A_r.(U_r - U_f) / \Sigma A_{wd}$	$+ \Sigma A_p.(U_p - U_f) / \Sigma A_{wd}$

dans lequel:

- U_g (W/m²K): coefficient de transmission thermique du vitrage (voir 8.3) ;
- U_f (W/m²K): coefficient de transmission thermique de l'encadrement, du système de profilés d'encadrement ou de combinaisons de profilés d'encadrement (voir 8.2) ;
- $\Psi_{f,g}$ (W/mK): coefficient linéique de transmission thermique (voir 8.6)
- U_r (W/m²K): coefficient de transmission thermique de la grille de ventilation (voir 8.5) ;
- ΣA_r (m²): aire totale des grilles de ventilation présentes, déterminée selon le § 9.1.5 ;
- U_p (W/m²K): coefficient de transmission thermique du panneau opaque (voir 8.4) ;
- ΣA_p (m²): aire totale des panneaux opaques présents, déterminée selon le § 9.1.3 ;
- ΣA_{wd} (m²): aire totale des fenêtres, déterminée sur la base des dimensions des baies.

Dans les Tableaux D1 et D2 (annexe D) et pour différentes sortes d'intercalaires, des valeurs $U_{w,T}$ sont données pour des ensembles de fenêtres sans panneaux opaques et/ou grilles de ventilation, ou une valeur moyenne simplifiée U_w de fenêtres individuelles. Les tableaux sont réalisés sur la base des équations simplifiées (37) et (38), mais où les deux termes complémentaires pour les panneaux opaques et les grilles de ventilation ne sont pas portés en compte.

NOTE 1 L'effet de panneaux opaques peut être négligé si $U_p \leq U_g$ et/ou U_f . De façon semblable, l'effet des grilles de ventilation peut également être négligé si $U_r \leq U_g$ et/ou U_f . Dans les deux cas, les deux termes complémentaires dans (37) et (38) équivalent à zéro.

NOTE 2 Dans le cas de grilles de ventilation pour lesquelles $U_r > U_g$ et/ou U_f est valable (cas le plus fréquent), on peut choisir la méthode alternative qui détermine $U_{w,T}$ sur la base du terme fixe dans (37) et (38), augmenté d'un terme complémentaire $\Sigma (\Psi_r \cdot l_r) / \Sigma A_{wd}$. Dans ce cas une valeur par défaut de $\Psi_r = 0,5$ W/mK peut être admise, à condition que la hauteur de la grille reste inférieure à 0,08 m (voir également 8.5 – NOTE 1). Généralement, cette hauteur de grille H_r doit satisfaire à l'exigence: $H_r \leq \Psi_r / U_r$ (m).

NOTE 3 Dans un même bâtiment plusieurs ensembles de fenêtres peuvent être présents, chacun avec une combinaison de composants différente. Par ensemble de fenêtres présentant la même combinaison de composants, une valeur $U_{w,T}$ simplifiée peut être déterminée séparément.

NOTE 4 Si dans un ensemble de fenêtres, certaines contiennent plusieurs profilés (d'une même famille de profilés d'encadrement - voir 8.2.1.2) ou contiennent des profilés d'encadrement présentant de légères divergences dimensionnelles (par exemple un encadrement avec différentes largeurs de profilés), la détermination de la valeur simplifiée $U_{w,T}$ de l'ensemble des fenêtres, se fait pour les profilés (d'une famille) sur la base de la limite supérieure de U_f (c.-à-d. pour thermiquement le plus mauvais profilé de la famille) ou pour les profilés d'encadrement (avec des divergences dimensionnelles) sur la base de la valeur moyenne pondérée par les aires de U_f . Ce principe doit être appliqué à toutes les fenêtres appartenant à l'ensemble de fenêtres pris en considération. Les valeurs $\Psi_{f,g}$ correspondantes (jonction encadrement-vitrage) doivent donc également être déterminées sur la base de la valeur U_f retenue.

9.6 Valeurs U_D des portes

9.6.1 Généralités

La valeur U_D d'une porte est déclarée par le fabricant selon les clauses de la norme NBN EN 14351-1, qui concernent les possibilités suivantes :

- soit par essai (boîte chaude) d'une porte entière selon la norme NBN EN ISO 12567-1 ; la valeur U_D ainsi déterminée sert de valeur de référence pour le produit concerné ;
- soit par un calcul précis selon les formules de la norme NBN EN ISO 10077-1 et/ou par un calcul numérique selon la norme NBN EN ISO 10077-2 et comme expliqué en détail dans 9.6.2 (portes entièrement vitrées), 9.6.3 (portes avec vitrages et/ou panneaux opaques) et 9.6.4 (portes pleines sans vitrage).

Si aucun détail n'est connu au sujet des composants de la porte, des valeurs par défaut de U_D peuvent être prises du Tableau 16 (voir le § 9.6.5).

NOTE 1 Pour des calculs précis la valeur U_D déclarée (calculée ou testée) par le fabricant doit correspondre aux dimensions réelles des composants de la porte concernée.

NOTE 2 Pour les portes industrielles ou les portes de garage la détermination de la valeur U_D sur la base d'essais selon la norme NBN EN 12567-1, doit satisfaire aux prescriptions spécifiques de la norme NBN EN 12428 et de l'annexe B de la norme NBN EN 13241-1.

9.6.2 Portes entièrement vitrées

Le coefficient de transmission thermique d'une porte entièrement vitrée (U_D), qui est composée comme élément de bâtiment d'un encadrement, d'un ouvrant dans lequel un vitrage simple ou multiple est incorporé (Figure 34), est calculé suivant :

$$U_D = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \Psi_{f,g}}{\sum A_g + \sum A_f} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (39)$$

où :

- U_g (W/m²K) : la valeur U de la partie centrale du vitrage, calculée suivant 8.3 ;
- U_f (W/m²K) : la valeur U de l'encadrement, calculée suivant 8.2 ;
- A_g (m²) : la superficie du vitrage, déterminée suivant 9.1.3 ;
- A_f (m²) : la superficie de l'encadrement, déterminée suivant 9.1.2 ;
- $\Psi_{f,g}$ (W/mK) : le coefficient de transmission thermique linéique tenant compte des effets combinés du vitrage, de l'intercalaire et de l'encadrement, déterminé selon le § 8.6 et/ou annexe G ;
- l_g (m) : le périmètre visible du vitrage, déterminé suivant 9.1.4 ;

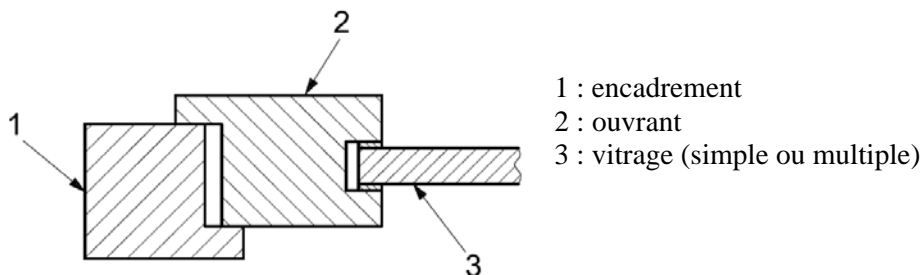


Figure 34 – Porte entièrement vitrée

NOTE 1 Pour un vitrage simple le dernier terme du numérateur de l'expression (39) tombe.

NOTE 2 Si la porte concernée est pourvue d'une grille de ventilation, l'expression (39) doit comprendre supplémentaires le terme $\sum A_r \cdot U_r$ dans le numérateur et le terme $\sum A_r$ dans le dénominateur.

9.6.3 Portes avec vitrage et/ou panneaux opaques

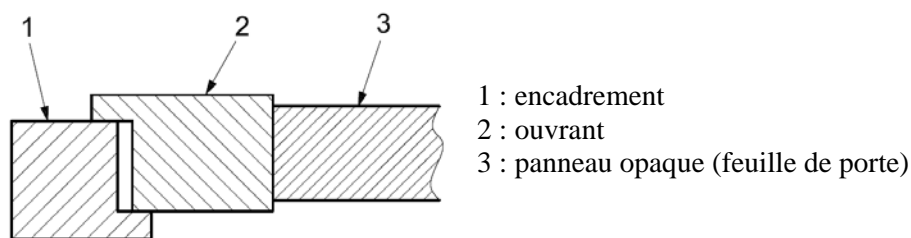


Figure 35 – Porte avec vitrage et panneau opaque

Si la porte est composée d'un encadrement et ouvrant, dans lequel un vitrage et un panneau opaque sont incorporés (Figure 35), la valeur U_D est calculée suivant :

$$U_D = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum A_p \cdot U_p + \sum l_g \cdot \Psi_{f,g} + \sum l_p \cdot \Psi_{f,p}}{\sum A_g + \sum A_f + \sum A_p} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (40)$$

avec :

- $U_g, U_f, A_g, A_f, \Psi_{f,g}$ en l_g : comme déterminé au 9.6.2 ;
- U_p (W/m²K) : valeur U du panneau opaque, calculée suivant 8.4 ;
- A_p (m²) : la superficie du panneau opaque, déterminée suivant 9.1.3 ;
- $\Psi_{f,g}$ (W/mK) : le coefficient de transmission thermique linéique tenant compte des effets combinés du panneau, de l'intercalaire et de l'encadrement, déterminé selon le § 8.6 et/ou annexe G ;
- l_p (m) : le périmètre visible du panneau, déterminé suivant 9.1.4 ;

NOTE 1 Si la porte comporte uniquement des panneaux opaques (sans vitrage), les termes concernant le vitrage disparaissent dans l'expression (40).

NOTE 2 Si la porte concernée est pourvue d'une grille de ventilation, l'expression (40) doit comprendre supplémentaires le terme $\sum A_r \cdot U_r$ dans le numérateur et le terme $\sum A_r$ dans le dénominateur.

9.6.4 Panneaux de porte sans vitrage

Pour les panneaux de porte opaques homogènes (sans vitrage, couches perpendiculaires au flux de chaleur), le coefficient de transmission thermique (valeur U_p) peut être dérivé des mesures selon la norme NBN EN 12664 ou NBN EN 12667, ou calculé numériquement selon la norme NBN EN ISO 10077-2 ou NBN EN ISO 10211.

Pour les panneaux de porte sans vitrage avec des caractéristiques géométriques simples et qui sont exécutés dans des matériaux (exceptés les clous et les vis) dont le rapport de leur conductivité thermique (valeurs λ) n'est pas supérieure à 1:5, la valeur U_p (du panneau de la porte) est calculée selon l'équation (15) de 7.1, dans laquelle la valeur R_T correspondante est calculée selon l'équation (6) de 6.1 (construction avec des couches homogènes) ou l'équation (7) de 6.2 (construction avec des couches homogènes et hétérogènes).

9.6.5 Valeurs par défaut

Si aucune autre information n'est connue, les valeurs par défaut du Tableau 16 peuvent être admises pour les valeurs U_D , en fonction du matériau de l'encadrement de porte et du panneau de porte et entre lesquels un matériau d'isolation peut se trouver.

	Portes non isolées		Portes isolées (1)	
	en métal	autres matériaux	en métal	autres matériaux
U_D (W/m ² K)	6,0	4,0	5,0	3,0
(1)	au moins 70% de l'aire totale de porte pourvue d'une isolation avec $R_{\min} = 0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$			

Tableau 16 – Valeurs U_D -pour portes

10. Coefficient de transmission thermique des façades légères

10.1 Généralités

Voir NBN EN 13947 (§ 3) – Définitions, symboles, unités

Les façades légères, connues aussi sur le nom de murs rideaux, sont des systèmes de fenêtre constitués d'une combinaison de vitrages, profilés d'encadrement et panneaux opaques, assemblés dans un cadre séparé afin de former un module. Un exemple de structure de ce genre est donné à la Figure 36.

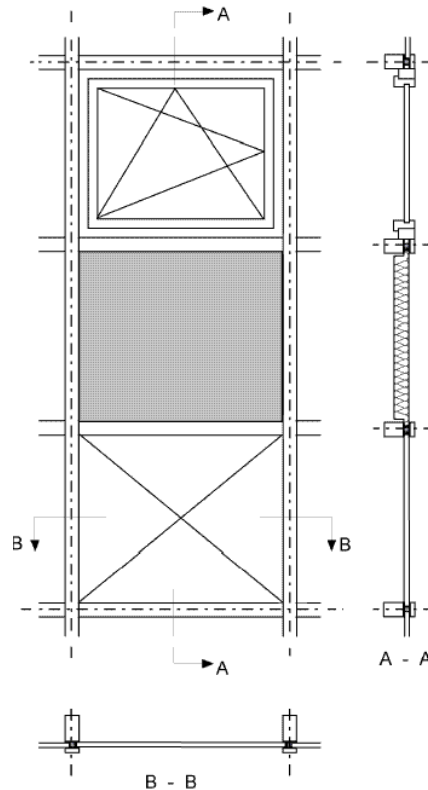


Figure 36 – Module de façade légère (mur rideau)

En raison de l'utilisation de nombreux matériaux pouvant être liés entre eux de différentes manières, le risque de présence de ponts thermiques dans ces façades légères est très grand. La détermination du coefficient de transmission thermique de ces façades doit tenir compte de l'influence des ponts thermiques ne se présentant pas seulement à hauteur des jonctions mutuelles entre vitrages, panneaux opaques et profilés d'encadrement, mais également à hauteur des jonctions entre les modules eux-mêmes. Les méthodes de détermination seront expliquées dans les chapitres suivants.

10.2 Caractéristiques constructives des façades légères

10.2.1 Éléments constitutifs et conditions de bord

Voir NBN EN 13947 (§ 4) – Caractéristiques géométriques

Les éléments constitutifs d'un module de façade légère sont représentés schématiquement dans la Figure 37.

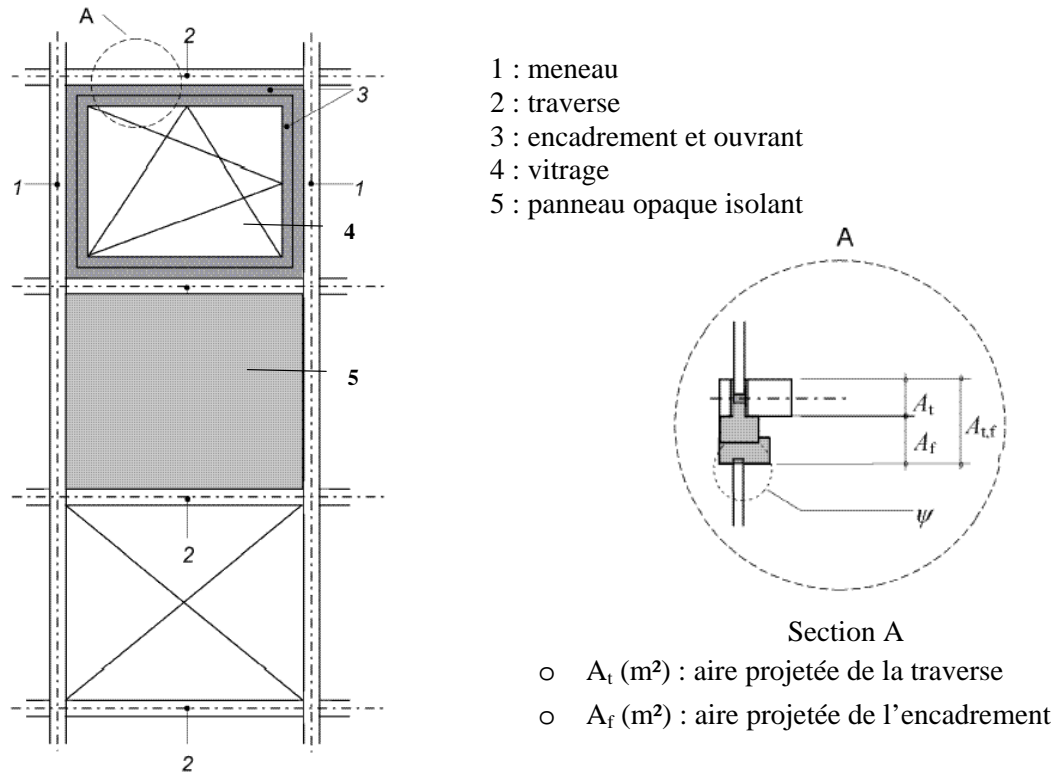


Figure 37 – Eléments constitutifs d'un mur rideau

La délimitation des lignes de séparation entre les divers modules d'une façade légère dépend du type de façade légère comme illustré dans la Figure 38.

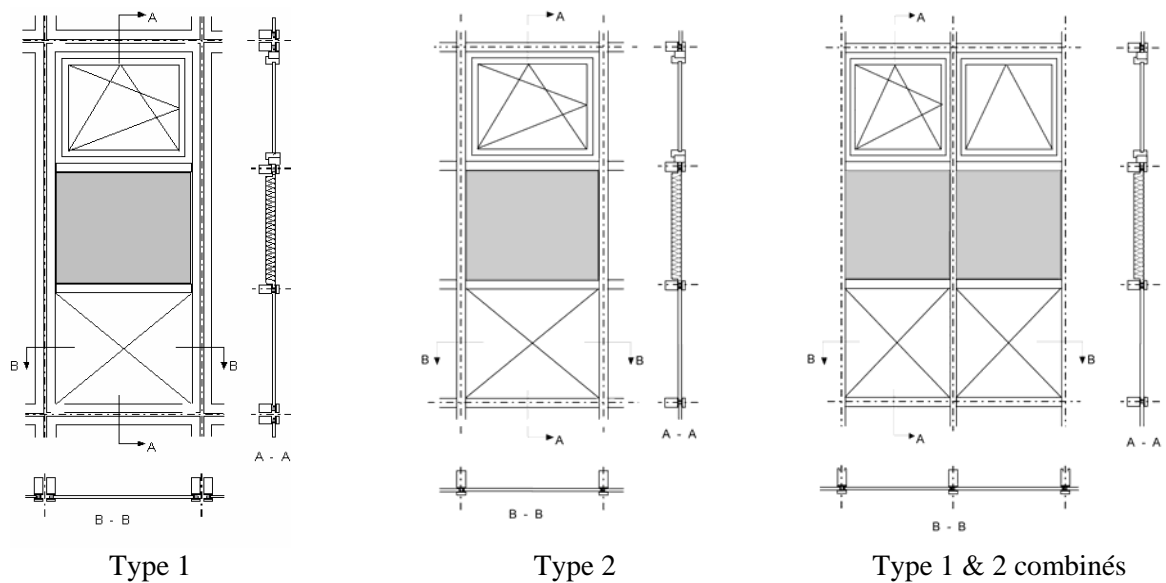


Figure 38 – Délimitation des aires des modules d'une façade légère

10.2.2 Définition des aires et du périmètre

Voir NBN EN 13947 (§ 4) – Caractéristiques géométriques

Pour chaque module de façade légère, les aires des éléments constitutifs (vitrage, cadres fixes et dormants, panneaux, meneaux et traverses) sont à prendre en compte comme les aires projetées, comme représentées schématiquement dans la Figure 39.

Ces aires peuvent être différentes selon qu'elles soient vues du côté extérieur ou du côté intérieur. A ce sujet les conventions suivantes sont à respecter :

- pour le vitrage et le panneau opaque, la plus petite des aires visibles de chaque côté est retenue ;
- pour tous les autres composants (profilés d'encadrement, meneaux, traverses) la plus grande des aires vues de chaque côté, est prise en compte.

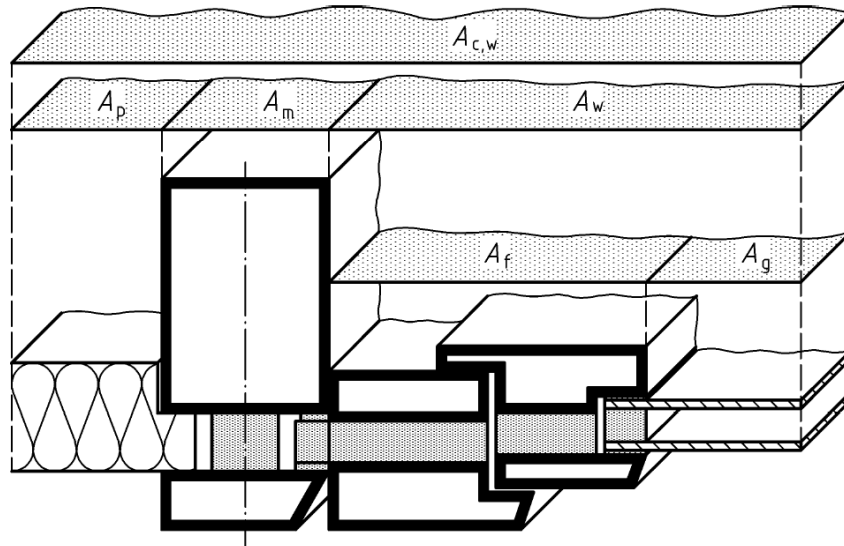
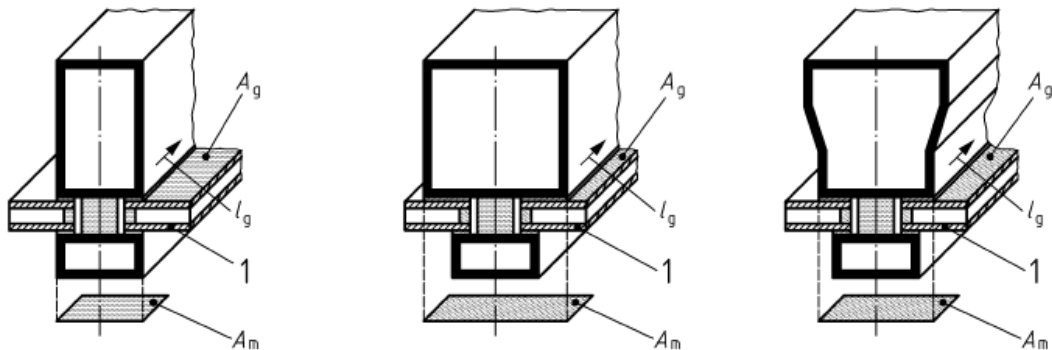


Figure 39 – Illustration des aires projetées et développées de façades légères

Si le périmètre du vitrage (l_g) ou du panneau opaque (l_p) est différent de chaque côté, le périmètre est défini comme la longueur totale de la ligne de séparation entre l'aire du vitrage (ou du panneau) et l'aire de l'encadrement et/ou des meneaux et traverses, comme illustré dans la Figure 40.



1 : vitrage - A_g : aire du verre - l_g : périmètre, mesuré à la ligne de séparation de la surface du vitrage et celle du cadre et/ou des meneaux et traverses - A_m : aire du meneau ou de la traverse

Figure 40 – Illustration de l'aire du vitrage et du périmètre

10.2.3 Règles pour la modélisation

Voir NBN EN 13947 (§ 5) – Plans de coupe et division en zones thermiques

Lors de la modélisation ou la subdivision d'une façade légère, les plans de coupe sont choisis de telle façon qu'ils mènent à créer des parties de façade ayant une propre valeur U. Dans ce cas, la valeur globale U_{cw} de la façade légère est déterminée comme la valeur moyenne pondérée par les aires des valeurs U de toutes les parties de façade séparément. Les caractéristiques thermiques de chaque partie de façade peuvent soit être précisément déterminées par mesure ou calculs numériques, soit de manière simplifiée via des valeurs tabulées ou de graphiques

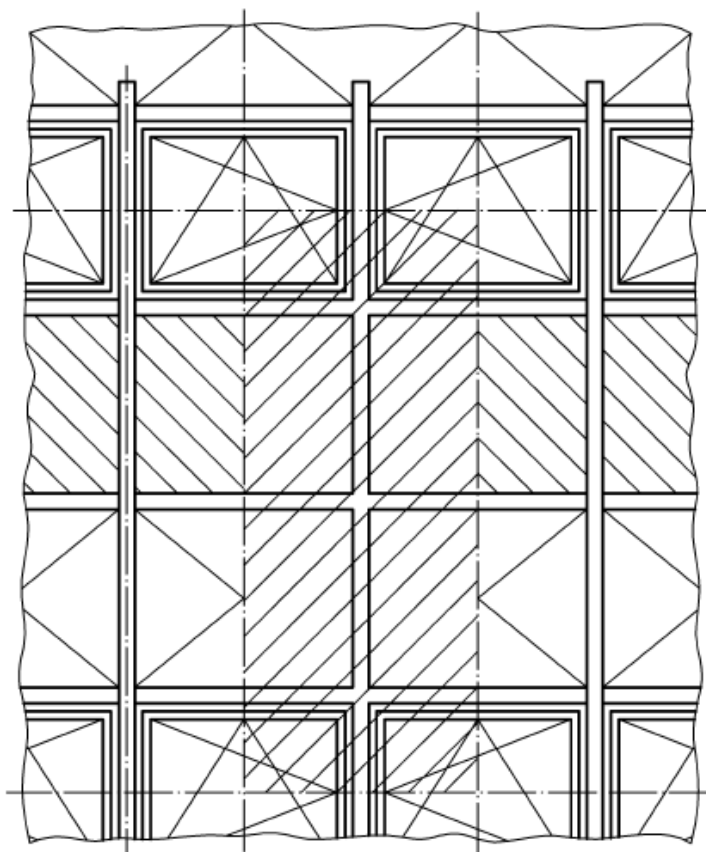


Figure 41 – Modélisation d'un module complet de façade légère

Les modules de façades légères sont généralement d'une composition complexe dans laquelle les parties centrales sont liées entre elles par des éléments de liaison qui ont une conductivité thermique élevée. Ainsi d'importants ponts thermiques peuvent être créés, qui peuvent augmenter d'une manière importante les pertes calorifiques. Lors de la modélisation des modules, il faut choisir avec soin les plans de coupe et les conditions de bord. Dans la Figure 41, l'exemple de modélisation montre par exemple que les plans de coupe sont situés sur les plans de symétrie (au milieu du vitrage) ou aux endroits où les effets de bord pouvant influencer le flux de chaleur, sont minimaux ou à négliger.

10.3 Détermination numérique précise de la valeur U_{cw} d'un module de façade légère

Voir NBN EN 13947 (§ 6) – Détermination de la valeur U_{cw}

10.3.1 Principes de méthode précise de calcul numérique

L'ensemble (module de façade légère) est un produit dont la marque et le type sont connus, ou qui est constitué de composants dont les marques et les types sont connus. Dans ce cas, la valeur U_{cw} , déclarée par le fabricant, est déterminée

- soit à partir d'essais suivant la norme NBN EN ISO 12567-1 ;
- soit par calculs numériques précis suivant NBN EN ISO 10211 et NBN EN ISO 10077-2, où U_{cw} est déterminé comme valeur U moyenne pondérée de tous les sous-composants du module, y compris de tous les effets de bord (ponts thermiques) qui apparaissent dans les éléments de liaison entre les composants, c.à.d. :
 - la valeur U de la zone centrale du vitrage (U_g) telle que déclarée par le fabricant et déterminée suivant la norme NBN EN 673, NBN EN 674 ou NBN EN 675 ;
 - la valeur U de la zone centrale des panneaux opaques (U_p), calculée suivant les chapitres 6 et 7 ;
 - le flux thermique qui se manifeste dans les éléments de jonction entre les composants, y compris tous les effets de bord par suite de l'action de pont thermique, calculé selon les règles expliquées en 10.3.2.

NOTE La méthode de détermination précise peut être adoptée sans limites pour tous les types de façades légères.

10.3.2 Détermination du flux de déperdition calorifique au travers des éléments de liaison

10.3.2.1 Généralités

Les liaisons entre les sous-composants (vitrage, panneaux opaques) provoquent des déperditions supplémentaires par suite des effets de bord (ponts thermiques). Ces déperditions supplémentaires sont déterminées:

- soit à partir d'essais suivant la norme NBN EN ISO 12567-1 ;
- soit sur la base de calculs numériques (2D- et/ou 3D) suivant NBN EN ISO 10077-2 et/ou NBN EN ISO 10211.

Lors de l'exécution de la méthode de calcul numérique, la déperdition totale du flux thermique à travers les éléments de liaison (Φ_{TJ}), y compris tous les effets de bord, peut être calculée de deux différentes manières:

- soit l'élément de liaison entre le vitrage et le panneau opaque est pris comme élément de façade séparé (ayant une aire et une valeur U propre) ; dans ce cas, une valeur U_{TJ} est calculée suivant la méthode de calcul de 10.3.2.2 ;
- soit l'élément de liaison entre le vitrage et le panneau opaques est considéré comme un pont thermique linéaire (ayant une longueur et une valeur Ψ propre), dans ce cas la valeur Ψ_{TJ} est déterminée suivant la méthode de calcul de 10.3.2.3.

La détermination de U_{cw} se fait finalement suivant les formules données dans 10.3.3.

10.3.2.2 Détermination de U_{TJ} (liaison considérée comme élément de façade)

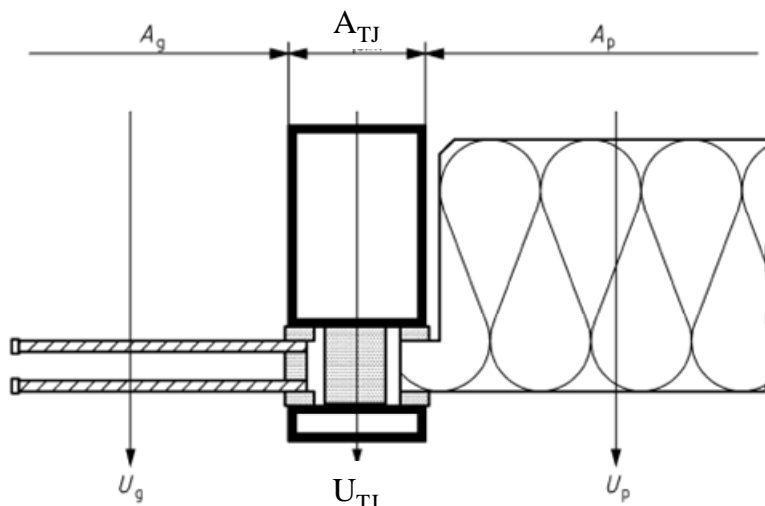


Figure 42 – Liaison considérée comme élément de façade ayant une aire propre

Dans ce cas, le modèle de calcul de la Figure 42 est valable.

Pour les vitrages et les panneaux, tant les aires (A_g en A_p) que les valeurs U centrales sont connues. La liaison entre le vitrage et le panneau est considérée comme élément de façade ayant une aire projetée connue (A_{TJ}) et une valeur U propre inconnue (U_{TJ}) (à chercher). Sur la base du flux de déperdition calorifique total (Φ_{tot}) à travers le modèle complet (calculé numérique), U_{TJ} découle de:

$$U_{TJ} = \frac{\Phi_{tot} - ((U_g \cdot A_g + U_p \cdot A_p) \cdot \Delta T)}{A_{TJ} \cdot \Delta T} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (41)$$

où: ΔT (K) : différence de température entre l'environnement intérieur et extérieur

NOTE 1 U_{TJ} détermine le flux thermique par la liaison avec tous les effets de bord compris (interaction entre l'encadrement et le vitrage ou le panneau opaque) du modèle considéré. Cette valeur U_{TJ} n'est donc pas comparable à U_f (encadrement), laquelle se rapporte uniquement au flux thermique à travers l'encadrement de liaison sans tenir compte des effets de bord.

NOTE 2 Lors de calcul numérique, l'aire A_{TJ} est considérée comme la plus grande des aires projetées de l'ensemble des éléments de liaison située entre le vitrage et le panneau opaque, tel illustré dans la Figure 43.

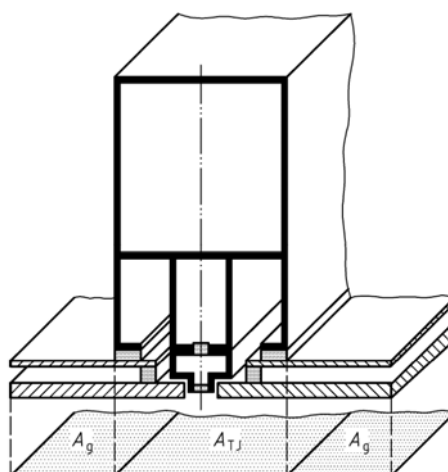


Figure 43 – Détermination de A_{TJ} en cas de vitrage structural

10.3.2.3 Détermination de Ψ_{TJ} (liaison considérée comme pont thermique linéaire)

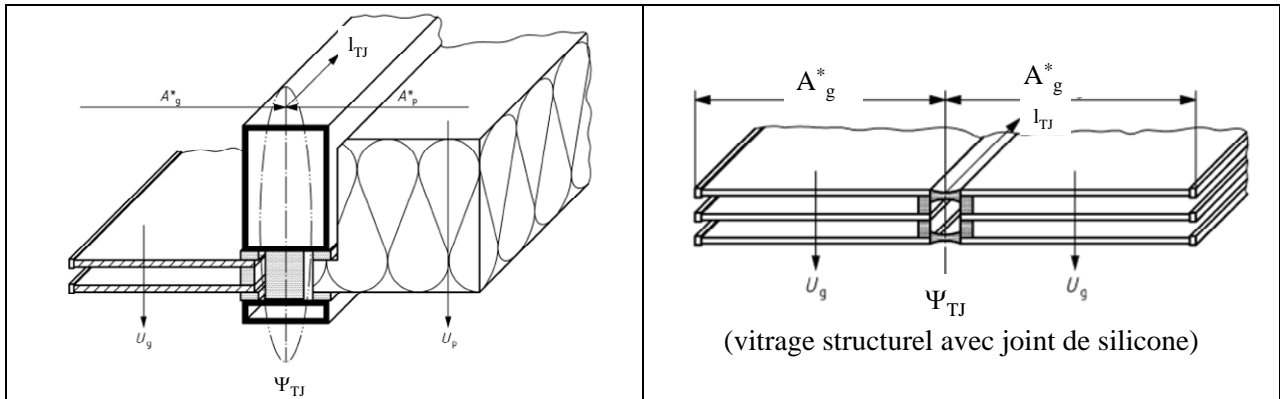


Figure 44 – Liaisons considérées comme pont thermique

Dans ce cas le modèle de calcul de la Figure 44 est appliqué. Pour les vitrages et/ou les panneaux opaques, tant les aires équivalentes (A_g^* et/ou A_p^*) que les valeurs U centrales (U_g et/ou U_p) sont connues. La liaison entre le vitrage et/ou les panneaux est considérée comme un pont thermique ayant une longueur propre connue (l_{TJ} déterminée comme la longueur de la liaison thermique entre les panneaux opaques et/ou le vitrage) et une valeur Ψ propre (Ψ_{TJ}) inconnue (à chercher). Sur la base du flux total de chaleur calculé numériquement (Φ_{tot}), Ψ_{TJ} est calculé comme suit:

$$\Psi_{TJ} = \frac{\Phi_{tot} - ((U_g \cdot A_g^* + U_p \cdot A_p^*) \cdot \Delta T)}{l_{TJ} \cdot \Delta T} \quad \text{W/mK} \quad (42)$$

10.3.3 Détermination de U_{cw}

U_{cw} est finalement calculé comme une valeur U moyenne pondérée par les aires.

Si la liaison entre les composants est considérée comme un élément de façade séparé, U_{cw} découle de

$$U_{cw} = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_p \cdot U_p + \sum A_{TJ} \cdot U_{TJ}}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_{TJ}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (43)$$

Si la liaison entre les composants est considérée comme un pont thermique, U_{cw} découle de:

$$U_{cw} = \frac{\sum A_g^* \cdot U_g + \sum A_p^* \cdot U_p + \sum l_{TJ} \cdot \Psi_{TJ}}{A_{cw}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (44)$$

10.4 Détermination de la valeur U_{cw} (méthode de composants)

Voir NBN EN 13947 (§ 6.3) – Détermination de la valeur U_{cw} suivant la méthode de composants

10.4.1 Principe de la méthode de détermination

La méthode de composants peut être appliquée si la structure (module d'une façade légère) est un produit dont les marque et types ne sont pas connus ou est constituée d'un ou de plusieurs composants dont la marque et le type ne sont pas connus, mais dont seulement la nature est connue.

Lors de la détermination de la valeur totale U_{cw} d'un module de façade légère suivant cette méthode de composants, une valeur U moyenne pondérée est calculée de tous les sous-composants du module (vitrage, panneau opaque, profilés d'encadrement et meneaux et traverses), où les effets de bord des liaisons entre ces éléments sont ajoutés comme ponts thermique, c.-à-d. chiffré par le produit d'une longueur et d'un coefficient de transmission thermique linéique (valeur Ψ).

10.4.2 Détermination générale de U_{cw}

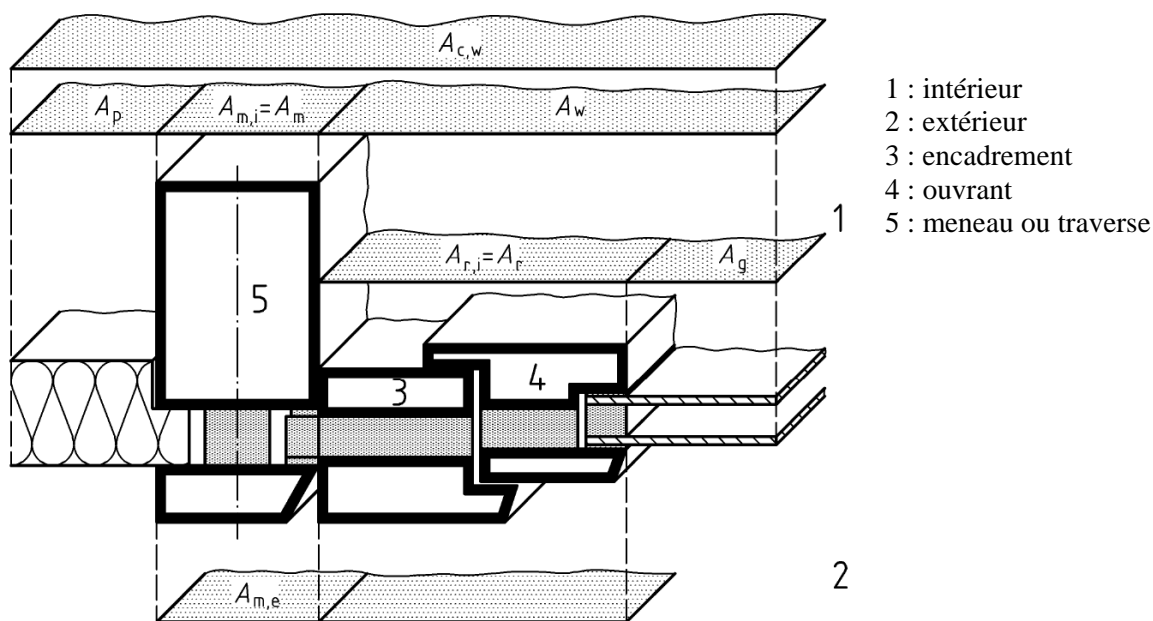


Figure 45 – Subdivision d'un module en composants avec propre aire et propre valeur U

Le coefficient de transmission thermique d'un module de façade légère (U_{cw}) est calculé suivant :

$$U_{cw} = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_p U_p + \sum A_f U_f + \sum A_{m(t)} U_{m(t)} + \sum l_g \cdot \Psi_{f,g} + \sum l_p \cdot \Psi_{f,p} + \sum l_{m(t),g} \cdot \Psi_{m(t),g} + \sum l_{m(t),f} \cdot \Psi_{m(t),f}}{A_{cw}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (45)$$

où (voir Figure 45) :

- U_g, U_p (W/m²K) : coefficients de transmission thermique du vitrage et des panneaux opaques, déterminés suivant 10.4.3 ;
- U_f, U_m, U_t (W/m²K) : coefficients de transmission thermique des profils d'encadrement et des meneaux ou des traverses, déterminés suivant 10.4.4 ;
- A_g, A_p, A_f, A_m, A_t (m²) : les aires projetées correspondantes des vitrages, panneaux opaques, profils d'encadrement et meneaux et traverses, selon le § 10.2.2 ;
- A_{cw} (m²) : l'aire totale du module de façade légère, déterminée comme la somme de celles des parties composantes du module $A_{cw} = A_g + A_p + A_f + A_m + A_t$;
- $\Psi_{f,g}, \Psi_{f,p}$ (W/mK) : les coefficients de transmission thermique linéiques résultant des effets de bord (ponts thermiques linéaires) aux jonctions entre les vitrages et les profils d'encadrement d'une part et entre les panneaux et les profils d'encadrement d'autre part, déterminés suivant 10.4.5 ;
- $\Psi_{m,f}, \Psi_{t,f}$ (W/mK) : les coefficients de transmission thermique linéiques résultant des effets de bord (ponts thermiques linéaires) aux jonctions entre profils d'encadrement et les meneaux et traverses, déterminés suivant 10.4.5 ;
- $\Psi_{m,g}, \Psi_{t,g}$ (W/mK) : les coefficients de transmission thermique linéiques résultant des effets de bord (ponts thermiques linéaires) aux jonctions entre les vitrages et les meneaux et traverses, déterminés suivant 10.4.5 ;
- $l_g, l_p, l_{m,f}, l_{t,f}, l_{m,g}, l_{t,g}$ (m) : les périmètres des ponts thermiques linéaires des jonctions mutuelles entre vitrages, panneaux opaques, profils d'encadrement et meneaux et traverses.

NOTE Si la marque et le type d'un des composants de la façade rideau sont connus, la valeur U de ce composant peut être déterminée avec précision comme dans le 1^{er} cas.

10.4.3 Valeur U du vitrage et panneau opaque

10.4.3.1 Vitrage

Si la marque et le type du vitrage sont connus, la valeur U de la zone centrale du vitrage (U_g) est celle déclarée par le fabricant et obtenue suivant la norme NBN EN 673, NBN EN 674 ou NBN EN 675. Si seules les caractéristiques de produit sont connues, mais pas la marque et type, la valeur U_g peut être prise du tableau de l'annexe E.

10.4.3.2 Panneaux opaques

La valeur U de la zone centrale des panneaux opaques présents (U_p) est calculée suivant la norme NBN EN ISO 6946.

10.4.4 Valeur U des profilés d'encadrement et des meneaux et traverses

Le coefficient de transmission thermique des profilés d'encadrement (U_f) est déterminé suivant les principes repris dans le § 8.2.

Le coefficient de transmission thermique d'un meneau ou traverse (U_t or U_m) est déterminé:

- à partir d'essais suivant la norme NBN EN 12412-2 ;
- à l'aide de calculs numériques suivant la norme NBN EN ISO 10077-2.

NOTE Le calcul numérique de la norme NBN EN ISO 10077-2 ne tient pas compte des effets de bord des liaisons métalliques (vis) dans les meneaux et traverses. Les ponts thermiques ponctuels (valeurs χ) qui sont provoqués par ces liaisons peuvent être calculés précisément par un calcul numérique en 3D suivant la norme NBN EN ISO 10211 ou par un essai comparatif (un premier essai avec vis métalliques et un deuxième essai avec vis plastiques) suivant la norme NBN EN 12412-2.

Dans l'Annexe C de la norme NBN EN 13947, une méthode de calcul spéciale est exposée pour évaluer l'effet des liaisons des vis pour des systèmes de profilés d'encadrement, par un calcul numérique en 2D avec modélisation adaptée et conditions de bord adaptées. De manière simplifiée, l'effet de ces liaisons peut être évalué en ajoutant à la valeur U de l'encadrement (U_{m0} ou U_{t0} , calculée numériquement suivant la norme NBN EN ISO 10077-2, sans prise en compte de l'effet des vis), un facteur de correction ΔU :

$$U_{m(t)} = U_{m(t)0} + \Delta U \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (46)$$

S'il s'agit de vis en acier inoxydable, une valeur par défaut est donnée pour ce terme correctif ΔU dans le Tableau 17, pourvu que les conditions mentionnées soient remplies.

Diamètre de la liaison en acier inoxydable (vis)	Interdistance entre les liaisons	ΔU (W/m ² K)
≤ 6 mm	200 – 300 mm	0,3

Tableau 17 - Valeurs ΔU pour meneaux et traverses

10.4.5 Coefficient de transmission thermique linéique (vitrages, profilés d'encadrement et meneaux et traverses)

Les coefficients de transmission thermique des jonctions mutuelles entre vitrages ou panneaux, intercalaires et profilés d'encadrement ($\Psi_{f,g}$ en $\Psi_{f,p}$) peuvent être déterminés à partir:

- d'un calcul numérique suivant la norme NBN EN ISO 10077-2 (calcul précis)
- les valeurs par défaut mentionnées dans le Tableau B 1 et le Tableau G 3 de l'annexe G.

L'interaction ou la perte de chaleur supplémentaire engendrée par les jonctions d'un vitrage ou panneau aux meneaux et traverses, comme illustré à la Figure 46, peut être évaluée au moyen de coefficients de transmission thermique linéiques spécifiques ($\Psi_{m,f}$ et $\Psi_{t,f}$ ou $\Psi_{m,g}$ et $\Psi_{t,g}$). Cette valeur peut être déterminée à partir :

- d'un calcul numérique suivant la norme NBN EN ISO 10077-2 (calcul précis) ;
- des valeurs par défaut mentionnées dans les Tableaux G2, G4, et G5 de l'annexe G.

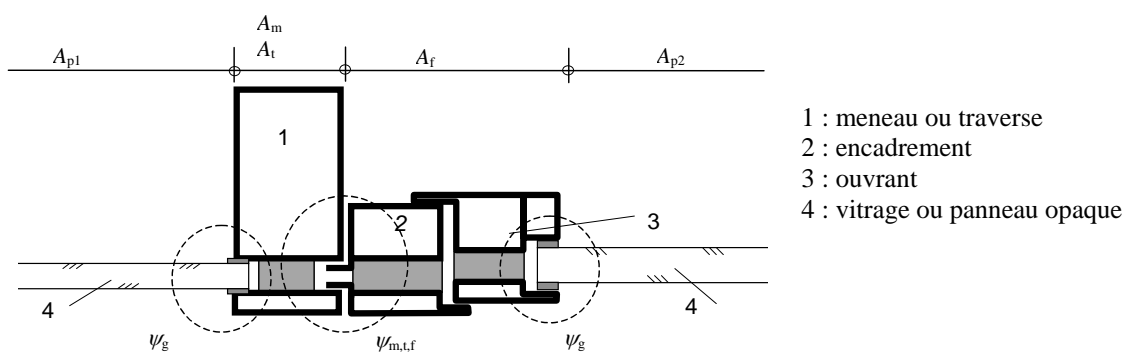


Figure 46 – Jonction d'un module de façade légère à un meneau ou traverse

10.5 Détermination de la valeur U_{cw} d'une façade légère composée de modules

Voir NBN EN 13947 (§ 6.4) – Façade composée de modules

Le calcul du coefficient de transmission thermique total ($U_{cw,tot}$) d'une façade légère, réalisé au moyen de différents modules de formes et de tailles variées peut se faire comme suit:

$$U_{cw,tot} = \frac{\sum (U_{cw,i} \cdot A_{cw,i})}{\sum A_{cw,i}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (47)$$

où:

- $U_{cw,i}$: valeurs U des différents modules ($\text{W/m}^2\text{K}$)
- $A_{cw,i}$: aires des différents modules (m^2)

11. Coefficient de transmission thermique d'autres éléments de construction translucides

11.1 Briques de construction et carreaux en verre

11.1.1 Généralités

Une paroi avec des briques ou carreaux en verre doit être considérée comme maçonnerie, c.-à-d. que les briques sont assemblées au moyen de colle ou de joints (mortier, plastiques, ...). Cela signifie que lors de la détermination du coefficient de transmission thermique de telles parois, l'influence du rejointoiement doit être prise en compte comme exposé en 6.2.4.

En outre, l'ensemble d'une paroi construite avec des briques en verre ou l'ensemble d'un sol construit avec des carreaux en verre, peut être encadré par des profilés d'encadrement (métalliques), dont les effets de bord doivent également être pris en compte comme pont thermique, comme expliqué dans le § 12.

11.1.2 Détermination de la valeur U_{gl} : procédure générale

Le coefficient de transmission thermique d'une brique ou d'un carreau en verre (U_{gl}) est déterminé suivant la procédure suivante:

1^e cas:

La brique ou le carreau en verre est un produit dont la marque et le type sont connus.

La valeur U_{gl} est la valeur déclarée par fabricant pour le produit concerné et peut être obtenue à partir

- d'essais suivant la norme NBN EN ISO 12567-1 ;
- de calculs numériques suivant la norme NBN EN ISO 10211 et/ou NBN EN 673
- de calculs suivant la norme NBN EN 1051-2.

2^e cas:

Si la valeur déclarée U_{gl} n'est pas connue ou si la brique ou le carreau de verre est un produit dont la marque et le type ne sont pas connus, dans ce cas, la valeur U_{gl} est égale à la valeur par défaut suivante: $U_{gl} = 5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

11.1.3 Méthode de calcul simplifiée

voir NBN EN 1051-2 (Annexe C) – Détermination de la valeur U des briques en verre

11.1.3.1 *Domaine d'application*

La méthode de calcul de la norme NBN EN 1051-2 s'applique aux briques et carreaux en verre composés de verre massif ou de blocs creux fermés hermétiquement. Cette méthode ne s'applique pas aux briques ou carreaux pourvus d'ouvertures de ventilation.

11.1.3.2 *Briques en verre massif*

La valeur U_{gl} de briques en verre massif est calculée suivant la méthode de calcul exposée dans les NBN EN ISO 10077-1 ou NBN EN 673 :

$$U_{gl} = \frac{1}{R_{si} + \sum_j \frac{d_{eq,j}}{\lambda_{Uj}} + R_{se}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (48)$$

Pour cela, les briques ou carreaux en verre massif sont modélisés comme un simple vitrage de longueur et de largeur identiques à celles de la brique ou du carreau d'origine, mais où l'épaisseur équivalente du verre (d_{eq}) est déterminée selon:

$$d_{eq} = \frac{m}{\rho \cdot A} \quad m \quad (49)$$

où:

- m (kg): la masse de la brique ou du carreau en verre ;
- ρ (kg/m³): la masse volumique de la brique ou du carreau en verre ;
- A (m²): l'aire de la brique ou du carreau en verre.

11.1.3.3 Briques ou carreaux en verre creux fermés hermétiquement

Les briques de construction et les carreaux en verre creux sont modélisés comme un double vitrage, de hauteur H, d'une largeur B et d'une profondeur W identiques au bloc d'origine, mais où s'appliquent les définitions particulières suivantes (voir Figure 47).

- épaisseur équivalente des feuilles de verre (h_{eq}) :

$$h_{eq} = \frac{m_c}{2 \cdot \rho \cdot A_c} \quad (m) \quad (50)$$

où m_c est la masse (en kg) des feuilles de verre dont l'aire $A_c = B_c \cdot H_c$ (m²)

- épaisseur équivalente des éléments de liaison (t_{eq}) :

$$t_{eq} = \frac{m_e}{2 \cdot \rho \cdot W \cdot (B + H)} \quad (m) \quad (51)$$

où m_e est la masse (en kg) des pièces de bord, avec $m = m_e + m_c$

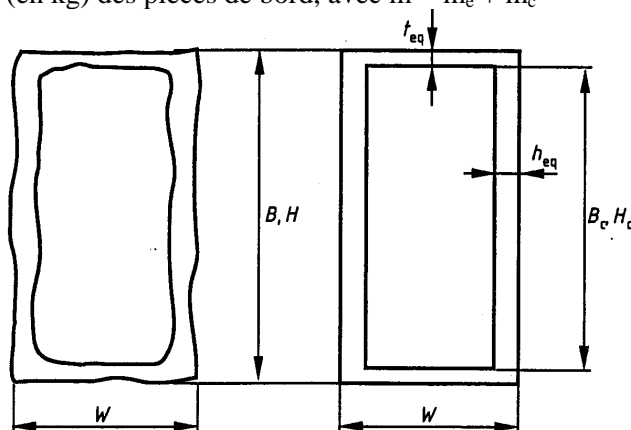


Figure 47 – Modélisation d'une brique de construction ou d'un carreau en verre creux

La valeur U_{gl} est calculée comme étant une valeur moyenne pondérée de la valeur U de la zone centrale du bloc de verre (U_c) et de la valeur U des pièces de bord (U_e):

$$U_{gl} = \frac{U_c \cdot A_c + U_e \cdot (A - A_e)}{A} \quad W/m^2K \quad (52)$$

où:

- U_c (W/m²): la valeur U de la zone centrale de la brique de verre, calculée comme un double vitrage suivant la norme NBN EN 673 ;
- U_e (W/m²K): la valeur U de la pièce de bord de la brique de verre, calculée comme un simple vitrage suivant la norme NBN EN 673 ;
- A (m²): l'aire de la brique de verre = B x H

11.2 Coupoles de toit

Voir EN 1873 (§ 5.9 – Résistance thermique)

Les coupoles de toit sont des éléments non plats constitués de panneaux en plastique à paroi simple ou multiple (GF-UP, PC, PMMA, PVC), directement reliées à la structure de toit ou montées sur costières (voir Figure 48). La costière elle-même peut être composée de plaques isolées ou non en plastique, acier, aluminium, béton ou bois.

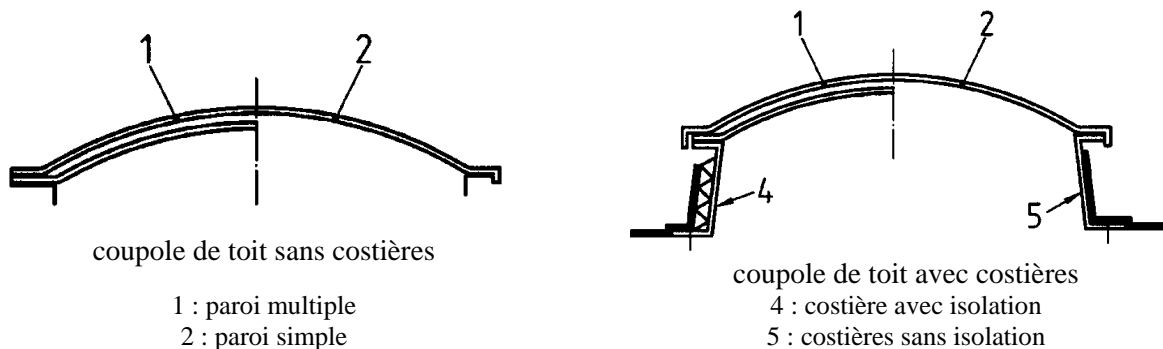


Figure 48 – Exemples de coupoles de toit

Suivant la norme NBN EN 1873, la valeur U des coupoles de toit (costière comprise ou non) est déterminée de la manière suivante:

- La valeur U de la coupole de toit elle-même (matériau translucide, sans effets de bord) est établie à partir d'un essai selon les NBN EN 674 ou NBN EN 675 ou à partir d'un calcul selon la norme NBN EN 673. Si aucune valeur n'est connue, les valeurs par défaut suivantes peuvent être adoptées:
 - coupoles de toit (paroi simple): $U_{\text{rt}} = 5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - coupoles de toit (paroi double) : $U_{\text{rt}} = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - coupoles de toit (paroi triple) : $U_{\text{rt}} = 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- La valeur U de la costière opaque, des profilés d'encadrement d'angle et des effets de bord (des jonctions entre coupole, profilés d'encadrement, éléments d'angle et costière) est établie sur la base d'un calcul numérique suivant la norme NBN EN ISO 10077-2 ;
- La valeur U de la coupole de toit en tant qu'ensemble (la costière opaque et tous les effets de bord pris en compte) est calculée selon la norme NBN EN ISO 10211 et/ou NBN EN ISO 14683 ou à partir d'un essai suivant NBN EN ISO 12567-2.

Aire de la coupole de toit et de la costière :

Lors du calcul de la déperdition de transmission thermique par la coupole de toit elle-même (éléments non plats), l'aire réelle (développée) doit être prise en compte. Des directives relatives à la détermination de l'aire des coupoles de toit et des costières sont exposées dans le § 14.5.3.

11.3 Lanterneaux (plaques profilées translucides)

Voir NBN EN 14963 (§ 5.9 – résistance thermique)

Les lanterneaux et plaques profilées translucides sont constitués de plaques alvéolaires plates, ondulées ou profilées, fabriquées à partir de matériaux plastiques (PMMA, PC, PVC, ...), translucides et transparents assurant une pénétration naturelle de la lumière du jour dans les bâtiments. Les plaques profilées sont formées d'éléments creux à entretoises d'épaisseur variable et peuvent être exécutées à paroi simple, double ou triple.

Selon la norme NBN EN 14963, la valeur U des plaques profilées translucides ou lanterneaux (la costière prise en compte ou non) est déterminée de la manière suivante:

NBN B 62-002 (2008)

- La valeur U de la plaque profilée elle-même (matériau translucide, sans effet de bord) et établie sur la base d'un essai selon la norme NBN EN 674 ou NBN EN 675 ou à partir d'un calcul suivant la norme NBN EN 673. Si aucune valeur n'est connue, les valeurs par défaut suivantes peuvent être adoptées:
 - plaque profilée (double paroi – épaisseur 10 mm) : $U_{pr} = 3,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - plaque profilée (double paroi – épaisseur 16 mm) : $U_{pr} = 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- La valeur U de la costière opaque, des profilés d'angle et de support et des effets de bord (des jonctions entre plaques, profilés et costière) est établie sur la base d'un calcul numérique suivant la norme NBN EN ISO 10077-2 ;
- La valeur U du lanterneau comme ensemble (plaques profilées en combinaison avec les profilés d'angle et de support et avec la prise en compte de la costière opaque et des effets de bord), est calculée suivant les NBN EN ISO 10211 et/ou NBN EN ISO 14683 ou à partir d'un essai déterminé suivant NBN EN ISO 12567-2.

Aire du lanterneau et de la costière :

Les directives relatives à la détermination de l'aire des lanterneaux (plaques profilées et costières, tant les éléments cintrés que plats) sont exposées dans le § 14.5.3.

11.4 Verre profilé

Le verre profilé est du type de verre armé ou non, rigide et autoporteur, ayant une forme définie (ex. en forme de U) et pouvant servir d'élément de paroi. Selon la forme du verre profilé, l'élément peut être posé de différentes façons, comme par exemple côte à côte ou se chevauchant en partie, ce qui engendre des éléments de paroi simples ou doubles (voir Figure 49). Les liaisons entre les profilés sont fermées au moyen de joints souples.

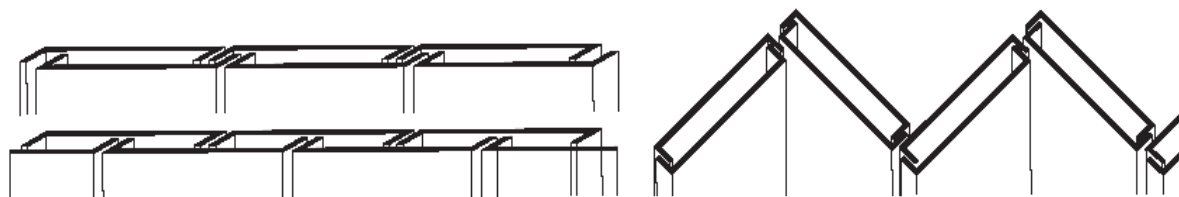


Figure 49 – Exemples de combinaison de verre profilé

La détermination de la valeur U du verre profilé (valeur centrale du vitrage) est établie de la même manière que pour le vitrage habituel (voir 8.3).

La détermination de la valeur U du verre profilé, posé comme élément de construction et avec prise en compte de l'effet des joints et de la résistance thermique de la lame d'air présente lors de la réalisation de double paroi, est établie à partir:

- d'un essai suivant la norme NBN EN ISO 12567-1 ;
- d'un calcul numérique selon les NBN EN ISO 10077-2 et/ou NBN EN 673.

NOTE Lors d'éléments de verre profilé réalisés en double paroi, la détermination de la résistance thermique des lames d'air placées verticalement est calculée selon la méthode de calcul détaillé de la ISO 15099.

12. Calcul des déperditions calorifiques par transmission par les ponts thermiques dans et entre les éléments de bâtiment

12.1 Généralités

12.1.1 Présence de ponts thermiques

Des ponts thermiques sont souvent présents au droit des raccordements entre éléments de bâtiment, ainsi que dans les éléments de bâtiment mêmes. Ces ponts thermiques se créent généralement du fait d'une interruption des couches d'isolation normalement présentes ; il se produit alors au droit du pont thermique des déperditions calorifiques supplémentaires qui ont un caractère typique linéaire ou ponctuel.

12.1.2 Méthode de détermination de la transmission thermique par les ponts thermiques

La méthode de détermination de la transmission thermique par les ponts thermiques dépend de la précision souhaitée du calcul:

- le calcul précis selon les dispositions de 12.2 ;
- le calcul simplifié selon le § 12.3.

12.2 Détermination précise de la transmission thermique par les ponts thermiques

12.2.1 Principes

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 4) - Principes

L'incidence des ponts thermiques sur la déperdition calorifique totale peut être déterminée avec précision selon les procédures de calcul (numériques) bi- ou tridimensionnelles de NBN EN ISO 10211.

12.2.2 Modélisation des éléments de bâtiment

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 5.2) – Règles pour la modélisation des éléments de bâtiment.

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 5.3) – Conditions pour la simplification du modèle géométrique.

12.2.3 Données d'entrée et conditions de bord

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 6.1) - Généralités

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 6.2) – Conductivités thermiques des matériaux.

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 6.3) – Résistances thermiques de transfert

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 6.4) – Conditions de bord (températures)

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 6.5) – Conductivité thermique des couches quasi homogènes.

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 6.6) – Conductivité thermique des couches d'air.

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 6.7) – Température dans les espaces adjacents non chauffés.

12.2.4 Méthode de calcul

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 7.1) – Solution technique

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 7.2) – Règles de calcul

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 8) – Coefficient de transfert de chaleur et flux thermique (calculs tridimensionnels).

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 9) – Calculs avec valeurs Ψ et valeurs χ (calculs tridimensionnels).

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 10) – Coefficient de transfert de chaleur et flux thermique (calculs bidimensionnels).

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 11) – Détermination de la température superficielle intérieure.

12.2.5 Données d'entrée et de sortie

Voir NBN EN ISO 10211 (§ 12) – Données d'entrée et résultats

12.2.6 Annexes

Voir NBN EN ISO 10211 (Annexe A) – Validation des méthodes de calcul

Voir NBN EN ISO 10211 (Annexe B) – Exemples de calcul

12.3 Détermination simplifiée de la transmission thermique par les ponts thermiques

12.3.1 Généralités

Voir NBN EN ISO 14683 (§ 4) – Influence des ponts thermiques sur le transfert de chaleur.

La détermination simplifiée de la transmission thermique par les ponts thermiques s'applique à la transmission thermique par les ponts thermiques linéaires. On rencontre des ponts thermiques linéaires entre autres dans les situations suivantes fréquentes:

- raccordements entre murs extérieurs (angles entre deux murs extérieurs, raccordement entre mur extérieur et toiture, raccordement entre mur extérieur et plancher) ;
- raccordements entre parois intérieures et parois extérieures ou toitures ;
- raccordements entre planchers intermédiaires et murs extérieurs ;
- colonnes en béton dans les parois extérieures ;
- raccordements des murs autour des fenêtres et des portes ;
- terrasses en saillie et balcons.

Les coefficients de transmission thermique linéiques liés aux ponts thermiques linéaires (valeurs Ψ) dépendent du système de calcul d'aire choisi, lequel doit être stipulé clairement pour tous les calculs thermiques (voir 15). Dans la pratique belge, on prend les dimensions extérieures de toutes les parois de l'enveloppe du bâtiment pour déterminer les aires.

L'utilisation de dimensions extérieures permet de négliger des ponts thermiques à condition que la couche d'isolation thermique principale (la couche avec la résistance thermique la plus grande dans l'élément de construction) est continue (sans interruption) et reste uniformément avec la même épaisseur au droit du pont thermique potentiel.

12.3.2 Détermination du coefficient de transmission thermique linéique (valeur Ψ)

Voir NBN EN ISO 14683 (§ 5) – Détermination du coefficient de transmission thermique linéaire

12.3.2.1 Méthodes disponibles et leur précision

Le choix de la méthode de détermination du coefficient de transmission thermique linéique (valeur Ψ) dépend du degré de précision souhaité dans les calculs.

Les méthodes de détermination possibles sont les calculs numériques (précision $\pm 5\%$), les atlas de ponts thermiques ($\pm 20\%$), les calculs manuels ($\pm 20\%$) et les valeurs par défaut (jusqu'à 50%). Ces méthodes seront expliquées de manière plus détaillée aux paragraphes suivants.

Si, au moment de la conception des bâtiments, on ne connaît encore que les dimensions et la forme des parois de l'enveloppe du bâtiment, on peut déterminer provisoirement les ponts thermiques à l'aide des valeurs Ψ par défaut tirées de l'Annexe H ou les valeurs Ψ plus fiables des détails de construction les plus correspondants tirés d'un atlas de ponts thermiques. Enfin, si les détails de construction sont connus avec précision, on peut réaliser des calculs numériques qui produiront les valeurs Ψ les plus précises.

12.3.2.2 Calculs numériques

On effectue les calculs numériques selon les procédures de calcul de NBN EN ISO 10211 et avec mention du système choisi pour les dimensions.

On obtient la valeur Ψ sur base de l'expression suivante:

$$\Psi = L^{2D} - \sum l_i \cdot U_i \quad \text{W/mK} \quad (53)$$

où:

- L^{2D} (W/mK) : coefficient de couplage linéique, obtenu par un calcul bidimensionnel de l'élément de bâtiment qui forme la séparation entre deux environnements ;
- U_i (W/m²K) : la valeur U de l'élément de bâtiment unidimensionnel ;
- l_i (m) : la longueur pour laquelle la valeur U est valable dans le modèle géométrique bidimensionnel.

12.3.2.3 Atlas de ponts thermiques

Les atlas de ponts thermiques contiennent des exemples valables de détails de construction qui peuvent être utilisés par les auteurs de projets afin d'évaluer et éviter les ponts thermiques. Comme les détails de construction exposés présentent des dimensions fixes et des matériaux fixes, les atlas de ponts thermiques sont moins souples que les calculs.

En règle générale, on peut dire qu'il est rare que les détails constructifs présentés dans les atlas de ponts thermiques correspondent à ceux des éléments de bâtiment envisagés ; de ce fait, les valeurs Ψ indiquées dans l'atlas comportent des incertitudes. Quoi qu'il en soit, on peut utiliser des valeurs Ψ tirées d'un atlas de ponts thermiques validé dans la mesure où les dimensions du modèle et les caractéristiques thermiques des matériaux de construction sont soit identiques soit moins favorables du point de vue thermique que ceux du détail de construction considéré (voir NOTE).

Les calculs numériques suivant lesquels les valeurs Ψ sont déterminées dans un atlas de ponts thermiques doivent être réalisés selon la norme NBN EN ISO 10211 et il faut, en outre, mentionner les informations suivantes :

- les dimensions des détails constructifs et les valeurs U de leurs parties homogènes du point de vue thermique ;
- les valeurs R_{si} et R_{se} utilisées pour le calcul des valeurs Ψ de l'atlas.
- une explication de la manière dont on peut déduire une valeur Ψ des valeurs figurant dans l'atlas pour un détail constructif correspondant.

Les atlas de ponts thermiques informatisés disposent de vastes banques de données de détails de construction que l'on peut adapter en matière de dimensions, matériaux de construction et conditions de bord. Ces atlas approchent une précision comparable à celle des calculs numériques et leur souplesse d'utilisation forme en fait une solution alternative intéressante pour l'utilisateur.

NOTE Il est recommandé que les atlas de ponts thermiques contiennent aussi des informations sur la manière dont la valeur Ψ est influencée, pour un détail donné, par les modifications de la valeur λ et/ou des dimensions des éléments de construction présents dans le détail où se trouve le pont thermique. Les atlas de ponts thermiques informatisés répondent généralement à ces critères.

12.3.2.4 Calculs manuels

Il existe beaucoup de méthodes de calculs manuels spécifiques destinées à être utilisées sur les machines à calculer ou dans les logiciels informatiques. Il est impossible de donner une indication générale de leur précision car la plupart de ce genre de calculs manuels sont adaptés à des applications spécifiques. Cela veut dire que la précision est généralement bonne pour ces applications, mais est mauvaise en-dehors de ce domaine d'application.

NBN B 62-002 (2008)

Les méthodes utilisées pour les calculs manuels doivent fournir les informations suivantes:

- les types de détails constructifs pour lesquels le calcul est d'application ;
- les limites dimensionnelles dans lesquelles on peut utiliser la méthode ;
- les limites à respecter en matière de conductivité thermique ;
- les valeurs de R_{si} et R_{se} à utiliser ;
- une évaluation de la précision de la méthode de calcul (p. ex. erreur maximale).

12.3.2.5 Valeurs par défaut

Voir NBN EN ISO 14683 (Annexe A) – Valeurs par défaut (tableaux)

Les tableaux de valeurs par défaut de Ψ peuvent être établis conformément aux règles données dans cette norme. Ces tableaux doivent donner une indication claire de l'applicabilité des valeurs citées et doivent, en outre, contenir des valeurs Ψ "de sécurité", c.-à-d. qui ne sous-estiment pas l'effet des ponts thermiques en question sur la déperdition calorifique totale.

Les annexes H et I reprennent des tableaux de valeurs Ψ de sécurité pour les cas de ponts thermiques que l'on rencontre le plus souvent dans la pratique belge. Ces valeurs peuvent servir de valeurs par défaut pour tous les raccordements entre éléments de bâtiment pour lesquels on manque de données précises quant au détail des ponts thermiques.

12.3.2.6 Exemple de calcul

Voir NBN EN ISO 14683 (Annexe B) – Exemple de calcul

Un exemple de calcul élaboré est repris en Annexe H.3.

PARTIE 2

Performances thermiques des bâtiments.

Calcul du coefficient de transfert de chaleur par transmission (H_T) et par ventilation (H_V)

13. Coefficient de transfert de chaleur d'un bâtiment ²

13.1 Généralités

Le coefficient de transfert de chaleur H (W/K) d'un bâtiment exprime la quantité de chaleur transférée par unité de temps et par degré de différence de température entre les environnements intérieur et extérieur, soit directement soit à travers d'autres environnements dont l'espace chauffé (refroidi) du bâtiment est séparé par les parois qui le renferment.

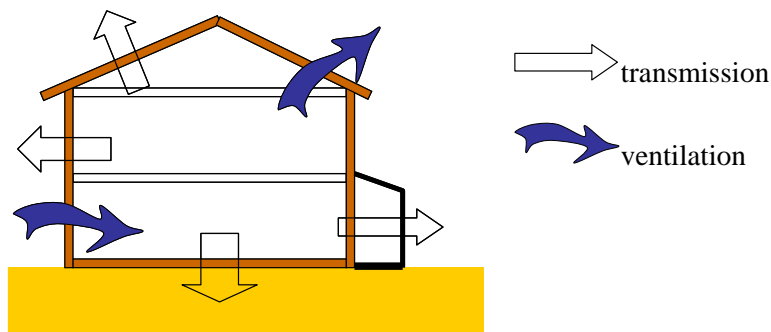


Figure 50 – Transfert de chaleur par transmission et par ventilation d'un bâtiment

Le coefficient de transmission thermique H (W/K) du bâtiment (Figure 50) est déterminé comme suit :

$$H = H_T + H_V \quad (\text{W/K}) \quad (54)$$

- où:
- H_T (W/K) : coefficient de transmission thermique total pour le transfert de chaleur par transmission entre l'espace chauffé (refroidi) du bâtiment et l'environnement extérieur ou à travers des environnements dont l'espace chauffé (refroidi) est séparé par les parois qui le renferment (voir 14).
 - H_V (W/K) : coefficient de transmission thermique net pour le transfert de chaleur par ventilation entre l'espace chauffé (refroidi) du bâtiment et l'air de ventilation amené de l'extérieur et/ou évacué vers l'extérieur, éventuellement compte tenu du préchauffage ou de la récupération de chaleur de cet air de ventilation (voir 19).

² Par "bâtiment" s'entend un bâtiment ou une partie de bâtiment ayant une destination distincte, quel que soit le nombre d'unités de destination ou le nombre de zones de calcul à prendre en considération.

13.2 Volume protégé, espace chauffé (refroidi), espace adjacent non chauffé

13.2.1 Délimitation du volume protégé (VP) du bâtiment

Voir NBN EN ISO 13789 (§ 4.2) – Limites de l'espace chauffé (refroidi) d'un bâtiment

Voir NBN B 62-301 – Isolation thermique des bâtiments - Niveau de l'isolation thermique globale

Pour déterminer les termes H_T et H_V de chaque partie de bâtiment ayant une destination distincte, il convient de délimiter préalablement et explicitement le volume protégé (VP) du bâtiment. Des conventions claires doivent être établies à cet égard au sein de l'équipe de conception et de construction (architecte, maître de l'ouvrage, bureau d'étude, entrepreneur).

Le volume protégé (VP) d'un bâtiment est l'ensemble des espaces que l'on considère comme protégés thermiquement, qu'ils soient ou non directement ou indirectement chauffés (refroidis). Le VP comprend au moins les espaces chauffés (refroidis) du bâtiment, mais en outre tous les espaces non chauffés (non refroidis) qui se trouvent à l'intérieur de l'enveloppe (isolée) du bâtiment et que l'on souhaite, pour cette raison, protéger aussi thermiquement (voir Figure 51).

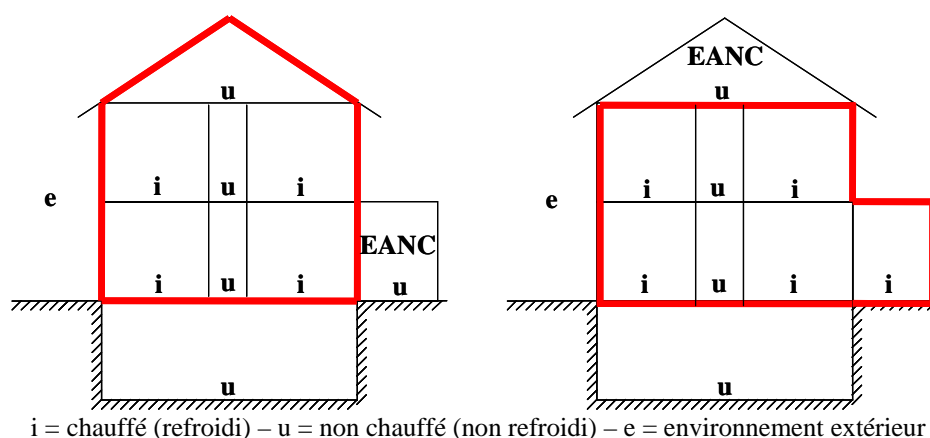


Figure 51 – Délimitation du volume protégé

Les volumes non chauffés (non refroidis) que ne sont pas adjacents à l'environnement extérieur et qui se trouvent à l'intérieur de l'enveloppe isolée du bâtiment, sont considérés comme des espaces chauffés (refroidis) indirectement et appartiennent de ce fait au volume protégé du bâtiment. Mais si ces espaces sont contigus à l'environnement extérieur, leur appartenance ou non au volume protégé est déterminée par l'équipe de conception ou de construction, différentes possibilités de choix existant à cet égard (voir aussi 13.2.2) :

- en cas d'espaces non chauffés inaccessibles ou ne servant pas à un usage courant, l'endroit où les couches d'isolation sont prévues est déterminant pour l'appartenance ou non au VP (p. ex. le grenier de la Figure 51 appartient ou non au VP selon que c'est la toiture ou le plancher du grenier qui est isolé) ;
- pour les espaces non chauffés accessibles ou servant à un usage courant, le choix est déterminé par la conception du bâtiment ou, à défaut d'une intention évidente à cet égard, par l'équipe de conception et de construction proprement dite.

Les espaces chauffés (refroidis) ou non qui appartiennent à la même destination (p. ex. les unités d'habitation, les espaces communs, les espaces de circulation) font partie du même volume protégé. Ainsi, dans un immeuble à appartements, le volume protégé est celui de l'ensemble de l'immeuble et chaque appartement ne constitue pas un volume protégé distinct. Tous les appartements et espaces communs appartiennent en effet au même bâtiment ayant la même destination.

13.2.2 Espace adjacent non chauffé (EANC) du bâtiment

Un espace adjacent non chauffé (EANC) du bâtiment considéré est un espace non chauffé (non refroidi) servant à l'usage courant, situé au-dessus du niveau du sol et contigu, d'une part, à l'environnement extérieur et, d'autre part, au volume protégé de ce même bâtiment considéré. L'espace adjacent non chauffé (EANC) est généralement considéré comme un espace tampon thermique qui atténue la déperdition calorifique entre les espaces situés à l'intérieur du VP et l'environnement extérieur, et qui peut également exploiter, dans certaines conditions, les gains solaires au profit des espaces situés à l'intérieur du VP.

L'affectation d'un espace comme espace adjacent non chauffé (EANC) est déterminée par l'équipe de conception ou de construction sur la base de la délimitation claire du VP du bâtiment, tel que décrit en 13.2.1.

L'appartenance ou non de l'espace non chauffé contigu à l'environnement extérieur au volume protégé dépend de l'emplacement des couches d'isolation dans l'enveloppe du bâtiment (voir Figure 51):

- si les parois de séparation entre, d'une part l'espace non chauffé et, d'autre part, les espaces chauffés à l'intérieur du VP sont isolées, l'espace non chauffé est considéré comme un espace adjacent non chauffé (EANC) qui n'appartient pas au VP ; il est recommandé d'isoler les parois entre les espaces chauffés et l'espace adjacent non chauffé (EANC) si ce dernier a été spécifiquement conçu pour servir d'espace tampon (p. ex. une véranda qui atténue le transfert de chaleur entre le VP et l'environnement extérieur et/ou peut exploiter les gains solaires) ; dans ce cas, le transfert de chaleur à travers l'espace adjacent non chauffé (EANC) est déterminé par le terme H_U selon le § 17.2 (bilan thermique de l'espace adjacent non chauffé (EANC) sans gains solaires) ou 17.3 (bilan thermique avec gains solaires)
- si les parois de séparation entre l'espace non chauffé et l'environnement extérieur sont isolées, l'espace non chauffé ne doit pas être considéré comme un EANC mais comme appartenant au VP ; l'isolation des parois en question est recommandée si l'espace non chauffé n'est pas apte ou destiné à servir d'espace tampon ; dans ce cas, il n'y a pas de terme H_U à déterminer.

14. Coefficient de transmission thermique totale par transmission (H_T) d'un bâtiment

14.1 Equation de base

Voir NBN EN ISO 13789 (§ 4.1) – Equation de base

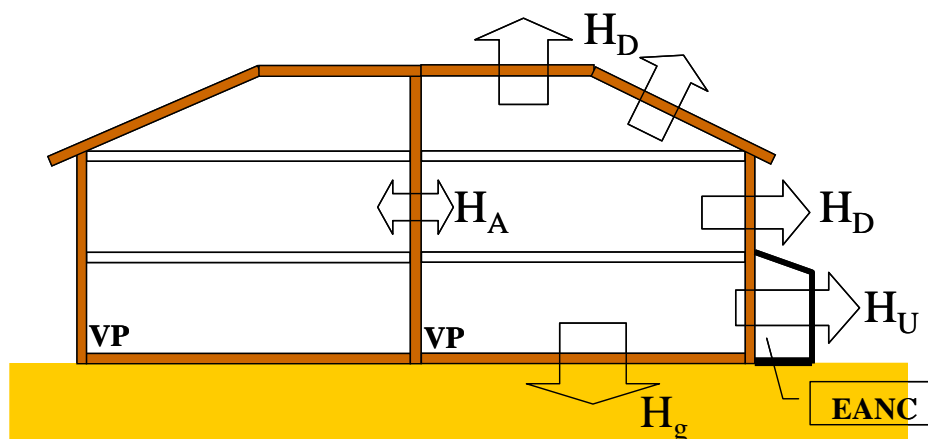


Figure 52 – Transfert de chaleur direct vers l'extérieur (H_D), par le sol (H_g) ou par un EANC (H_U)

Le coefficient de transmission thermique totale par transmission (H_T) d'un bâtiment est déterminé par:

$$H_T = H_D + H_g + H_U + H_A \quad \text{W/K} \quad (55)$$

où:

- H_D (W/K) : le coefficient de transmission thermique directe par transmission à travers tous les éléments de bâtiment qui séparent directement les espaces chauffés (ou refroidis) de l'environnement extérieur, déterminé selon le § 15 ;
- H_g (W/K) : le coefficient de transmission thermique par transmission entre l'espace chauffé (refroidi) et l'environnement extérieur, directement ou indirectement par le sol à travers des planchers et des murs en contact direct avec le sol ou avec des planchers situés au-dessus de locaux non chauffés renfermés en tout ou en partie par le sol (caves, vides sanitaires), déterminé selon le § 16 ;
- H_U (W/K) : le coefficient de transmission thermique par transmission entre l'espace chauffé (refroidi) et l'environnement extérieur par des espaces adjacents non chauffés, déterminé selon le § 17.
- H_A (W/K) : le coefficient de transmission thermique par transmission entre l'espace chauffé (refroidi) et un bâtiment avoisinant, déterminé selon le § 18.

14.2 Conventions relatives à la détermination précise ou simple des termes H_T

Voir NBN EN ISO 13789 (§ 8) – Conventions supplémentaires.

En règle générale, on peut dire que, quand on calcule le coefficient de transmission thermique par transmission (H_T), ce sont le but du calcul ainsi que la disponibilité et le degré de précision des données d'entrée nécessaires qui déterminent le recours à une méthode de calcul précise ou simplifiée.

A cet effet, les règles suivantes sont d'application, suivant NBN EN ISO 13789 :

- si le but du calcul est de fournir des données en vue de déterminer le besoin annuel en énergie pour le chauffage (refroidissement) du bâtiment, il faut utiliser les meilleures données d'entrée dont on peut disposer ;
- si le but du calcul est de tester les performances thermiques d'un bâtiment sur le plan du transfert de chaleur par transmission (H_T) par rapport aux exigences imposées en la matière (p. ex. le

niveau d'isolation des bâtiments selon la norme NBN B 62-301), il faut utiliser des données d'entrée conventionnelles (comme des moyennes, des valeurs limites ou des valeurs par défaut) pour certains paramètres, de manière à ce que les résultats du calcul soient indépendants de l'emplacement et de l'usage ou de la destination du bâtiment ; les conventions suivantes sont d'application à cet égard :

- pour déterminer H_g (coefficient de transfert de chaleur par transmission par le sol), on ne prend en compte que le terme stationnaire de la transmission thermique et la conductivité thermique du sol est supposée uniformément égale à 2 W/mK ;
- pour déterminer H_U (coefficient de transmission thermique par transmission à travers un EANC), on néglige la transmission thermique par ventilation entre les espaces chauffés (refroidis) à l'intérieur du VP et les EANC et on calcule la transmission thermique par ventilation entre l'EANC et l'environnement extérieur sur la base de valeurs par défaut simplifiées du taux de ventilation du volume d'air de l'EANC ;
- pour déterminer une valeur variable U d'un élément de bâtiment, il faut retenir la valeur U maximale comme valeur de calcul.

14.3 Modélisation de l'enveloppe du bâtiment

Voir NBN EN ISO 13789 (§ 4.2) – Délimitation de l'espace chauffé (refroidi)

En ce qui concerne le calcul du transfert de chaleur par transmission (H_T), le domaine d'application des normes européennes en vigueur peut être déterminé, pour tous les éléments de bâtiment qui délimitent le volume protégé du bâtiment, selon la norme NBN EN ISO 13789 et tel que représenté à la Figure 53.

Pour tous les espaces qui appartiennent au VP et qui sont situés au-dessus du niveau du sol ou au-dessus d'espaces partiellement ou entièrement renfermés par le sol (limite indiquée par 5 à la Figure 53), on détermine la transmission thermique directement vers l'environnement extérieur (H_D) et/ou à travers des EANC (H_U). A cette fin, les éléments de bâtiment peuvent être subdivisés en éléments plans (selon la norme NBN EN ISO 6946), portes et fenêtres (NBN EN ISO 10077) et les raccords entre ces éléments de bâtiment qui contiennent des ponts thermiques potentiels (NBN EN ISO 10211 et NBN EN ISO 14683).

Sous la limite susmentionnée, on trouve tous les éléments de bâtiment qui reposent directement sur le sol ou au-dessus d'espaces qui sont en partie ou entièrement renfermés par le sol et pour lesquels on détermine le terme H_g selon la norme NBN EN ISO 13370.

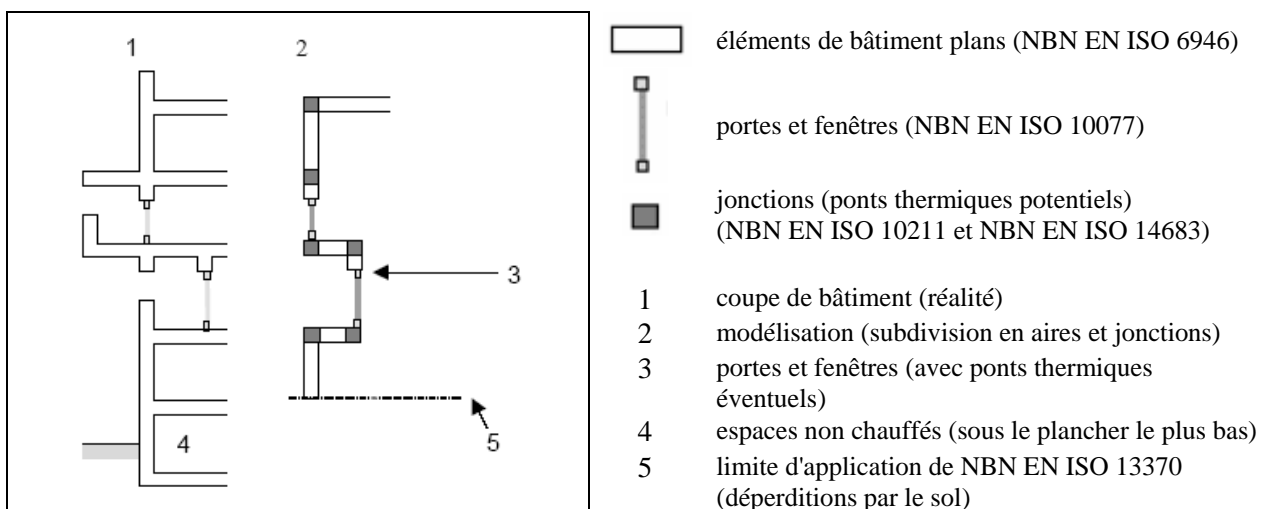


Figure 53 – Modélisation de la surface enveloppante du volume protégé

Si les calculs sont effectués par parties ou par zones à l'intérieur (de la partie) du bâtiment, les parties doivent être clairement délimitées et être attenantes, afin que la somme des coefficients de transfert de chaleur de toutes les parties soit égale à celle de l'ensemble du bâtiment. La délimitation du VP, qui

contient au moins tous les espaces chauffés (refroidis) du bâtiment, doit former une surface enveloppante fermée. A cette fin, on suivra les conventions de 14.4 en ce qui concerne le système de mesurage et la détermination des aires et volumes.

14.4 Conventions pour la détermination des aires et volumes

Voir NBN EN ISO 13789 (Annexe B) – Informations sur les dimensions

Le volume du VP considéré, ainsi que les aires des parois qui séparent le VP de l'environnement extérieur, du sol ou d'espaces partiellement ou entièrement renfermés par le sol et des EANC appartenant à ce bâtiment, sont déterminés à l'aide de dimensions extérieures (dimension c de la Figure 54, illustrée à la Figure 55).

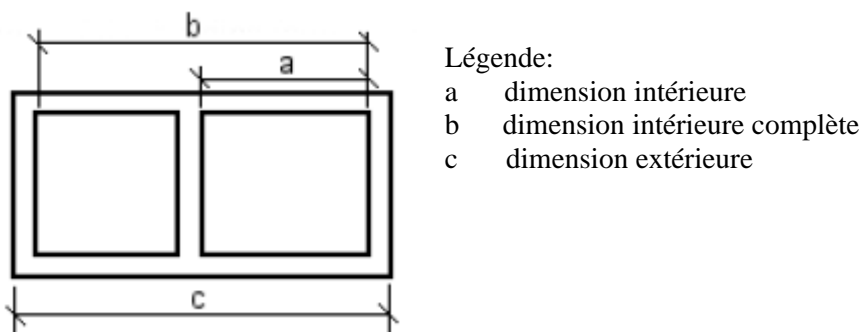
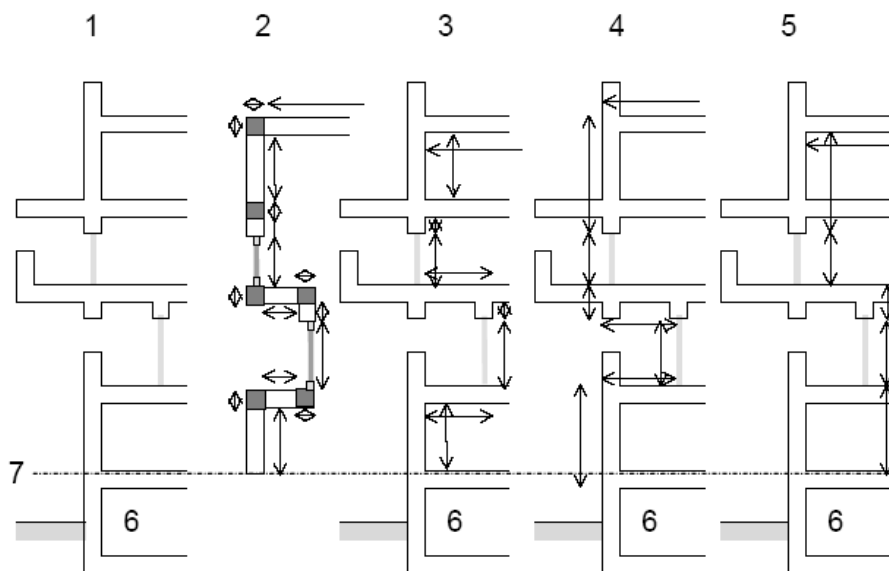


Figure 54 – Systèmes de dimensionnement

Ce système de dimensionnement (par les dimensions extérieures) doit s'utiliser de manière cohérente pour déterminer toutes les aires des parois pour lesquelles la transmission thermique se produit et pour lesquelles on détermine les termes de H_T .



1 : réalité – 2 : éléments de bâtiment – 3 : dimensions intérieures – 4 : dimensions extérieures – 5 : dimensions intérieures complètes – 6 : espace non chauffé – 7 : délimitation des déperditions par le sol

Figure 55 – Illustration des systèmes de dimensionnement

Le volume du VP, déterminé sur la base des dimensions extérieures, est un volume brut comprenant le volume de tous les murs intérieurs et entresols et le volume d'air des espaces (utilisé pour déterminer les déperditions par ventilation).

Les murs de séparation entre deux volumes protégés (à l'intérieur du même bâtiment ou entre un volume protégé et des espaces qui se trouvent avec certitude dans le volume protégé d'un autre bâtiment) appartiennent pour la moitié de leur épaisseur à l'un des volumes protégés et, pour l'autre moitié, à l'autre volume protégé. Dans tous les autres cas, on calcule le volume complet de ces murs de séparation jusqu'au volume protégé considéré.

NOTE Seul le volume d'air total compris dans le volume protégé considéré est d'application pour déterminer H_V (voir NOTE en 19.2.1).

14.5 Conventions relatives à certains éléments de bâtiment

14.5.1 Calcul de l'aire d'éléments de bâtiment non plans

Pour les éléments de bâtiment non plans ou cintrés, l'aire réelle (= développée) est prise en compte, sauf si d'autres conditions spécifiques sont d'application.

14.5.2 Calcul de l'aire des portes et fenêtres

Pour calculer le transfert de chaleur par transmission à travers les portes et les fenêtres, on prend les dimensions de la baie (vue depuis l'environnement extérieur) comme dimensions extérieures.

14.5.3 Détermination de l'aire des coupoles de toit et des costières

14.5.3.1 Aire des coupoles de toit sphériques ou cylindriques

Modèle géométrique pour la détermination de l'aire de coupole

Les coupoles peuvent être considérées de manière simplifiée comme une partie d'une sphère ou d'un cylindre. L'aire bombée d'une coupole peut dès lors être représentée dans un modèle bidimensionnel comme un segment de cercle, comme montré à la Figure 56.

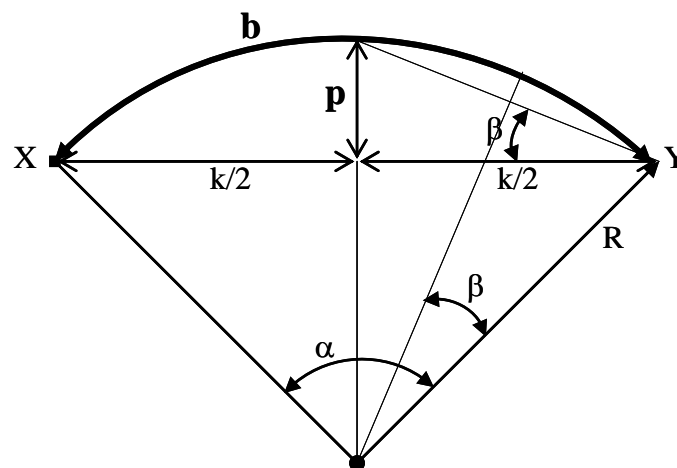


Figure 56 – Représentation schématique d'une coupole sphérique ou cylindrique

Afin de pouvoir déterminer l'aire bombée d'une coupole de toit, les dimensions géométriques suivantes doivent être connues et/ou calculées :

- R (m) = rayon du cercle (imaginaire);
- k (XY) (m) = corde du segment de cercle, égale à la longueur d'un côté de la base de la coupole de toit (de forme circulaire, rectangulaire ou carrée)
- b (m) = longueur de l'arc (partie de la circonférence du cercle)
- p (m) = flèche (la plus grande distance entre la corde et l'arc)
- α (degrés) = angle au centre du cercle sous laquelle l'arc est vu
- β (degrés) = angle entre la corde et la flèche

La corde (k) et la flèche (p) sont souvent les seules données bien connues ou qui peuvent être déterminées facilement.

Cas 1 : coupoles de forme cylindrique et à base rectangulaire

Dans le cas de coupoles cylindriques, comme le montre la Figure 57, la corde (k), la flèche (p) et la longueur L sont connues comme données.

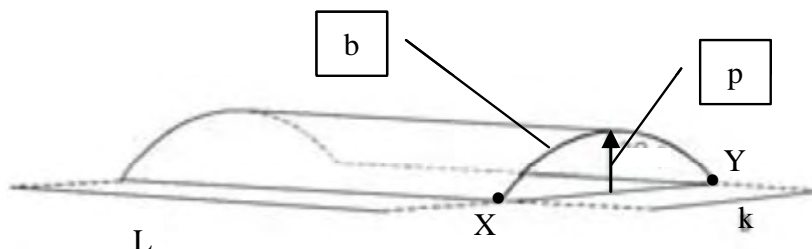


Figure 57 – Coupole de toit cylindrique à base rectangulaire

L'aire A (m²) de la coupole est déterminée facilement suivant :

$$A = b \cdot L$$

La longueur de l'arc b d'un cercle (voir Figure 56) est calculée suivant :

$$b = (\alpha \cdot R \cdot \pi) / 180$$

L'angle α est égale à : $\alpha = 4 \cdot \beta$

Où β (angle entre la corde et la flèche) est calculée suivant :

$$\tan \beta = p / (k/2)$$

ou $\beta = \arctan p / (k/2)$

Le rayon R du cercle est finalement calculé suivant :

$$R = (k/2) / \sin \alpha$$

Cas 2 : coupole sphérique à base rectangulaire (ou carrée)

Dans le cas d'une coupole sphérique, comme montré à la Figure 58, la flèche (p) est connue, tout comme les dimensions des deux côtés de la base de la coupole.

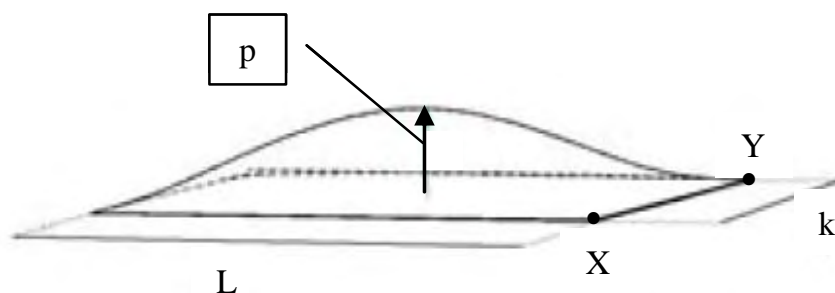


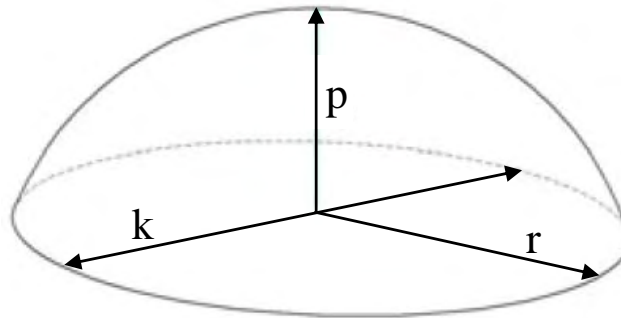
Figure 58 – Coupole de toit sphérique à base rectangulaire (ou carrée)

L'aire A (m²) de la coupole sphérique à base rectangulaire (ou carrée) est considérée d'une façon simplifiée comme celle d'une coupole cylindrique et est donc donnée par : $A = b \cdot L$

avec : L = longueur du côté le plus long de la coupole

b = longueur d'arc, c.à.d. la longueur de l'arc avec corde k (= XY), vue de l'autre côté (le plus court).

La longueur d'arc b peut alors être déterminée comme pour le cas 1 (sur base de la flèche p et la corde k).

Cas 3 : coupole sphérique à base circulaire**Figure 59 – Coupole de toit sphérique à base ronde**

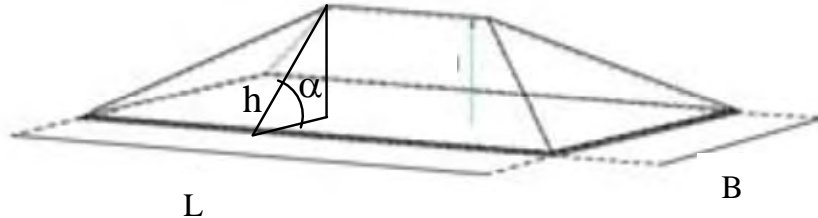
Dans le cas d'une coupole sphérique à base circulaire (Figure 59), l'aire de la coupole est géométriquement une calotte sphérique pure, dont l'aire A (m^2) est déterminée par :

$$A = (r^2 + 4 p^2) \cdot \pi/4$$

avec : r (m) = rayon de la base circulaire (= corde $k/2$)
 p (m) = flèche de la coupole.

14.5.3.2 Aire des coupoles de toit de forme pyramidale

Les coupoles pyramidales à base rectangulaire ont quatre côtés dont l'inclinaison (angle α) est la même par rapport au plan horizontal (Figure 60). L'aire totale de ces coupoles est égale à la somme des aires de deux triangles (aux côtés courts) et de deux trapèzes (aux côtés longs).

**Figure 60 – Coupole de toit pyramidale à base rectangulaire (ou carrée)**

L'aire totale A (m^2) est donnée par :

$$A = (B \cdot L) / \cos \alpha$$

avec : B (m) = côté court de la base
 L (m) = côté long de la base

Pour les coupoles pyramidales à base carrée on a $B = L$, de sorte que l'aire totale A (m^2) devient :

$$A = B^2 / \cos \alpha$$

avec : B (m) = côté de la base carrée

NOTE Quant à l'angle d'inclinaison α les valeurs par défaut suivantes peuvent être adoptées :

- Coupoles à paroi simple : $\alpha = 30^\circ$ ($\cos \alpha = 0,87$)
- Coupoles à paroi double : $\alpha = 25^\circ$ ($\cos \alpha = 0,91$)
- Coupoles à paroi triple ou coupoles EP : $\alpha = 20^\circ$ ($\cos \alpha = 0,94$)

14.5.3.3 Aire de la costière

Cas 1 : costière droite et/ou oblique à base ronde

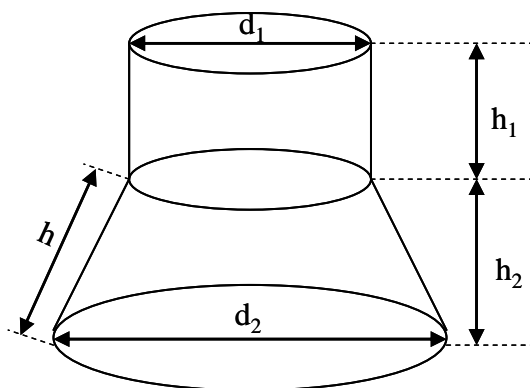


Figure 61 – Costière droite et oblique à base ronde (schéma de principe)

L'aire totale A (m²) d'une costière à base ronde (Figure 61) est égale à la somme de l'aire A₁ de la costière droite (= cylindre) et de l'aire développée A₂ de la costière oblique (= cône tronqué), déterminées comme suit .

Pour la costière droite : $A_1 = \pi \cdot d_1 \cdot h_1$
avec : d_1 = diamètre de la base; h_1 = hauteur de la costière droite.

Pour la costière oblique : $A_2 = \pi \cdot (d_1 + d_2)/2 \cdot h$
avec : d_1 = diamètre de la base (coupole); d_2 = diamètre de la base (costière);
 h = hauteur de la costière oblique, calculée suivant :
 $h = (h_2^2 + ((d_2 - d_1)/2)^2)^{1/2}$

Cas 2 : costière droite et/ou oblique à base rectangulaire (ou carrée)

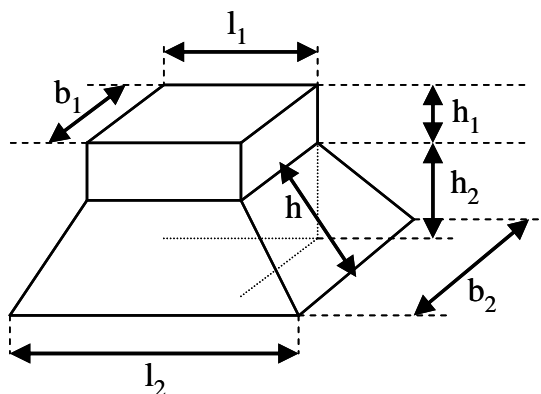


Figure 62 – Costière droite et oblique à base rectangulaire (schéma de principe)

L'aire totale A (m²) d'une costière à base rectangulaire (ou carrée) (voir Figure 62) est égale à la somme de l'aire A₁ de la costière droite (poutre) et de l'aire développée A₂ de la costière oblique (pyramide tronquée), qui sont déterminées comme suit.

Pour la costière droite : $A_1 = 2 \cdot (l_1 + b_1) \cdot h_1$
avec : l_1 , b_1 et h_1 = resp. longueur, largeur et hauteur de la costière droite.

Pour la costière oblique : $A_2 = (l_1 + l_2 + b_1 + b_2) \cdot h$
avec : l_1 , l_2 , b_1 et b_2 = resp. longueur et largeur des plans supérieur et inférieur de la pyramide tronquée; h = hauteur (oblique) de la pyramide, suivant :
 $h = (h_2^2 + ((l_2 - l_1)/2)^2)^{1/2}$

15. Coefficient de transfert de chaleur direct par transmission (H_D) de l'espace chauffé (ou refroidi) d'un bâtiment vers l'environnement extérieur

Voir NBN EN ISO 13789 (§ 4.3) – Transmission directe vers l'environnement extérieur

15.1 Expression générale

Le coefficient de transfert de chaleur direct par transmission (H_D) de l'espace chauffé (refroidi) d'un bâtiment vers l'environnement extérieur est déterminé par:

$$H_D = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{k=1}^m l_k \cdot \Psi_k + \sum_{l=1}^r \chi_l \quad [\text{W/K}] \quad (56)$$

où:

- A_i (m^2) : aire d'un élément de bâtiment i faisant partie de l'enveloppe du bâtiment, déterminée par les dimensions extérieures ;
- U_i ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) : valeur U de l'élément de bâtiment i faisant partie de l'enveloppe du bâtiment ;
- l_k (m) : longueur du pont thermique linéaire k présent, déterminée par les dimensions extérieures ;
- Ψ_k (W/mK) : coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique linéaire k (voir 12.3.2) ;
- χ_l (W/K) : valeur U ponctuelle du pont thermique ponctuel l (voir 12.2).

Il convient à cette fin de faire la somme de tous les éléments de bâtiment qui séparent l'environnement intérieur de l'environnement extérieur, y compris les murs mitoyens exposés à l'environnement extérieur qui se trouvent à cheval sur la limite des parcelles entre deux bâtiments contigus (voir 18.2), ainsi que tous les ponts thermiques linéaires k et tous les ponts thermiques ponctuels l présents dans et entre les éléments de bâtiment avec lesquels on calcule H_D , pour autant qu'ils n'aient pas encore été intégrés dans les calculs de la détermination de la valeur U_i de ces éléments de bâtiment.

Les valeurs U_i , Ψ_k doivent être déterminées avec la méthode de calcul propre à l'élément de construction concerné selon le but du calcul de H_T (précis, simplifié) et les données d'entrée dont on dispose (valeur connue, par défaut, conventionnelle...), tel que décrit en 14.2.

NOTE 1 Les ponts thermiques ponctuels sont également négligeables quand ils résultent de l'intersection de ponts thermiques linéaires. Dans ce cas, le dernier terme de l'expression (56) disparaît. Par contre, d'autres ponts thermiques peuvent avoir une influence significative sur la déperdition thermique totale par transmission et il faut en calculer la valeur U ponctuelle selon les règles de calcul de NBN EN ISO 10211.

NOTE 2 Si la couche d'isolation principale se poursuit sans interruption dans le raccordement entre différents éléments du bâtiment (p. ex. toiture et façade, raccordement d'angle de façades...) et conserve une épaisseur constante, les ponts thermiques linéaires et ponctuels sont négligeables (si l'on utilise les dimensions extérieures). La couche d'isolation principale est la couche possédant la plus grande résistance thermique qui se trouve dans les éléments de bâtiment de part et d'autre du pont thermique linéaire potentiel concerné.

NOTE 3 Si la valeur U d'un élément de bâtiment est variable (p. ex. une fenêtre avec volet fermé la nuit), il faut en calculer la plus grande et la plus petite valeur, et il faut appliquer la valeur U la plus adaptée pour le but du calcul et la période à prendre en considération à cet effet. La plus grande des deux valeurs doit être adoptée par convention (voir 14.2) si le but du calcul est d'exprimer par H_T la performance thermique en matière de transmission thermique.

15.2 Détermination précise de H_D

Le coefficient de transfert de chaleur direct par transmission entre les espaces chauffés (refroidis) du volume protégé et l'environnement extérieur (H_D) peut être calculé précisément de l'une des manières suivantes, au choix:

- Le coefficient de transfert de chaleur tridimensionnel direct par transmission est calculé pour l'ensemble du bâtiment selon les directives de NBN EN ISO 13789 et NBN EN ISO 10211 sur la base d'un calcul informatique tridimensionnel validé, dans lequel sont comprises toutes les influences de tous les ponts thermiques présents dans l'ensemble du bâtiment.
- Le coefficient de transfert de chaleur bidimensionnel direct par transmission est calculé selon la norme NBN EN ISO 120211, et l'on détermine les valeurs linéaires ψ et/ou ponctuelles χ .
 - soit sur la base d'un calcul informatique 2D ou 3D validé ;
 - soit sur la base d'un calcul simplifié selon la norme NBN EN ISO 14683 (voir Annexe H).

15.3 Détermination simplifiée de H_D

En règle générale, les méthodes de calcul simplifiées destinées à déterminer H_D s'utilisent aux conditions expliquées en 14.2.

Pour déterminer H_D , on peut utiliser les méthodes de calcul simplifiées de détermination de la valeur U des éléments de bâtiment aux conditions indiquées aux chapitres 7, 8, 9, 10 et 11.

Pour les ponts thermiques linéaires, on peut adopter des valeurs tabulées simplifiées aux conditions expliquées en 12.3. Les ponts thermiques linéaires et ponctuels peuvent être négligés aux conditions mentionnées dans la NOTE 2 de 15.1.

16. Coefficient de transfert de chaleur par transmission via le sol ou via des espaces non chauffés renfermés partiellement ou entièrement par le sol (H_g)

16.1 Généralités

Voir NBN EN ISO 13370 - § 4 – Méthodes de calcul.

Voir NBN EN ISO 13789 - § 4.4 – Coefficient de transmission thermique par le sol

NBN EN ISO 13370 détermine en termes généraux la méthode de calcul des coefficients de transmission thermique (valeurs U) des parois attenantes au sol ou à des espaces non chauffés renfermés partiellement ou entièrement par le sol et du transfert de chaleur vers l'environnement extérieur à travers de telles parois (valeurs H_g).

Etant donné la grande inertie thermique de la masse du sol, le transfert de chaleur par le sol connaît en réalité une évolution périodique qui dépend des fluctuations moyennes annuelles de la température intérieure et extérieure. Les méthodes de calcul précises de NBN EN ISO 13370 contiennent pour cette raison des termes tant stationnaires que périodiques qui servent sans exception pour tous les calculs où ces termes doivent être déterminés.

Les méthodes de calcul précises de NBN EN ISO 13370 servent pour tous les calculs dans lesquels on a besoin du transfert de chaleur stationnaire par transmission par le sol (H_g) ou pour lesquels il faut déterminer les flux calorifiques stationnaires ou périodiques par le sol (Φ).

Dans le domaine d'application de cette norme, la détermination du transfert de chaleur par transmission par le sol se limite au calcul du terme stationnaire (H_g), lequel s'effectue de l'une des manières suivantes :

- un calcul numérique tridimensionnel selon la norme NBN EN ISO 10211 qui donne immédiatement, sur la base d'un modèle de calcul, le résultat H_g pour l'ensemble de tous les planchers inférieurs et murs par lesquels le VP est en contact avec le sol ou des espaces non chauffés renfermés partiellement ou totalement par le sol ;
- un calcul numérique bidimensionnel selon la norme NBN EN ISO 10211 qui donne immédiatement le résultat H_g pour chaque paroi du VP qui est en contact avec le sol ou des espaces non chauffés entièrement ou partiellement renfermés par le sol ; le modèle établi ici concerne un plancher infini dont la largeur est égale à la "dimension caractéristique du plancher" (voir 16.2.4), dont on prend un tronçon fini de longueur égale à la moitié du périmètre (voir 16.2) ;
- un calcul normal basé sur des formules générales, qui détermine H_g pour les planchers inférieurs ou murs enterrés concernés (du VP) comme une somme de termes que l'on peut subdiviser comme suit, selon le type de paroi :
 - pour les planchers inférieurs non enterrés du VP, qui reposent directement sur du terre-plein ou qui sont situés au-dessus d'espaces (sanitaires) non chauffés (ventilés ou non), l'expression de H_g comporte deux termes :
 - le terme qui détermine la transmission thermique à travers le plancher comme le produit de l'aire du sol A et de la valeur U de ce plancher: $A.U$ (W/K) ;
 - le terme relatif aux déperditions dues aux ponts thermiques linéaires du raccordement mur-plancher situé le long du périmètre du plancher P , ayant une longueur l_g et un coefficient de transmission thermique linéique Ψ_g , déterminé comme un produit de la forme $l_g \cdot \Psi_g$ (W/K) ;
 - pour les planchers enterrés du VP, H_g comporte encore, outre les deux termes cités ci-dessus, un troisième terme supplémentaire :
 - l'élément qui détermine la transmission thermique à travers le mur enterré comme le produit du périmètre au sol P , la profondeur (moyenne) d'encaissement sous le niveau du sol z , calculée jusqu'à la surface du sol sous le plancher, et la valeur U du mur: $z.P.U$ (W/K) ;

Les paragraphes suivants traitent de manière plus détaillée les principes mentionnés ci-dessus pour les calculs normaux, pour les types de parois suivants:

- planchers inférieurs non enterrés du VP directement sur le terre-plein (voir 16.3) ;
- planchers et murs enterrés du VP (voir 16.4) ;
- planchers inférieurs non enterrés du VP situés au-dessus de vides sanitaires (ventilés ou non) (voir 16.5) ;
- planchers inférieurs non enterrés du VP, situés au-dessus d'espaces non chauffés (ventilés ou non) qui sont renfermés entièrement ou partiellement par le sol (voir 16.6) ;

NOTE Si l'espace chauffé (refroidi) du bâtiment ayant un plancher en contact direct avec le sol est en partie au-dessus et en partie en-dessous du niveau du sol, le transfert de chaleur par transmission H_g vers le sol est déterminé de manière simplifiée en supposant que toute la surface du plancher se trouve à une profondeur égale à la moitié de la profondeur de la partie du plancher située sous le niveau du sol.

16.2 Paramètres et règles relatifs aux termes liés à la surface de H_g

Voir NBN EN ISO 13370 – § 8 – Paramètres de calcul

16.2.1 Aire au sol du plancher inférieur

L'aire au sol A est l'aire déterminée à l'aide des dimensions extérieures du/des plancher(s) inférieur(s) par lesquels un VP est attenant au sol ou à des espaces non chauffés entièrement ou partiellement renfermés par le sol. En présence d'une série de bâtiments construits côte à côte, ayant chacun un VP distinct (maisons de rangée, p. ex.), on établit un fractionnement par VP en ce qui concerne le(s) plancher(s) inférieur(s) de leur VP, et on considère, pour chaque VP distinct, une aire au sol A , tel qu'illustré à la Figure 63.

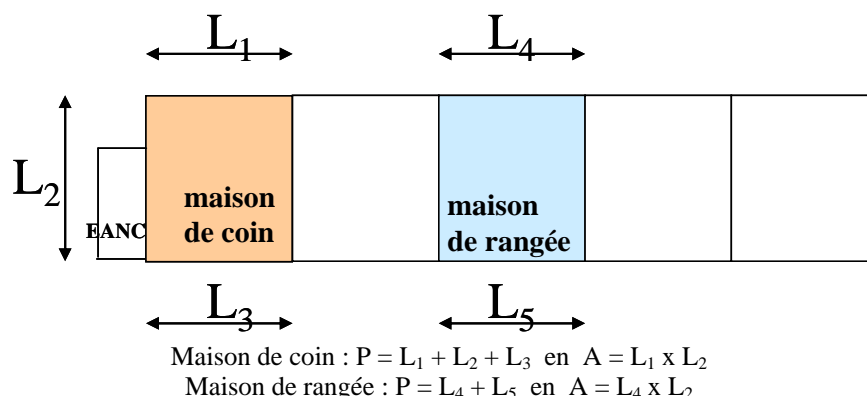


Figure 63 – Détermination de l'aire au sol et du périmètre exposé à l'environnement extérieur

L'aire d'un EANC (voir Figure 63) n'intervient pas dans la détermination de A puisque, par définition, un EANC ne fait pas partie du VP.

Selon la norme NBN EN ISO 13789, il faut en effet déterminer le coefficient de transfert de chaleur H_g par le sol de l'espace chauffé (refroidi) du bâtiment comme un transfert de chaleur vers l'environnement extérieur via le sol, comme s'il n'y avait pas d'espaces adjacents non chauffés entre cet espace et l'environnement extérieur (même s'il devait y en avoir). Le calcul de H_g est expliqué plus en détail en 17.1 et 17.2.

16.2.2 Règles pour le fractionnement de l'aire au sol

Pour déterminer les termes liés à la surface de H_g (termes de la forme A.U), il faut fractionner le transfert de chaleur via le sol en différents termes qui sont fonction du type ou de l'espèce de plancher inférieur:

- si le plancher est en contact direct avec le sol sur toute sa surface et que la surface au sol est située au-dessus ou à hauteur du niveau du sol (non enterrée), le transfert de chaleur doit être déterminé comme un seul terme ;
- si le plancher est entièrement enterré, il y a aussi un élément de mur enterré et le transfert de chaleur se compose, de ce fait, de deux termes en relation mutuelle et dont l'ensemble détermine la transmission thermique totale à travers le plancher et le mur:
 - un terme plancher, calculé avec une aire donnée et une valeur U donnée ;
 - un terme mur, calculé comme le terme plancher, mais où le calcul tient compte d'une aire égale au produit du périmètre (P) et de la profondeur moyenne d'encaissement (z) du mur ;
- si le plancher est situé au-dessus d'un espace non chauffé entièrement ou partiellement renfermé par le sol (cave ou vide sanitaire), la transmission thermique est un terme pluriel qui concerne non seulement toutes les parois en contact avec le sol mais qui tient également compte de la transmission à travers les éléments de paroi situés au-dessus du sol et éventuellement aussi de la ventilation possible de l'espace non chauffé en question.

Si le plancher inférieur présente un décalage de niveau à l'intérieur d'un VP, entre le VP et un EANC, ou entre le VP et un autre VP, les aires verticales de ce décalage ne sont pas prises en considération dans le calcul de A.

16.2.3 Périmètre du plancher inférieur du VP

Le périmètre P (au sol) du plancher inférieur du VP est la longueur totale mesurée à l'horizontale sur laquelle la surface du sol A de ce plancher est attenante à l'environnement extérieur et/ou à un EANC.

Il y a de règles supplémentaires relatives à la détermination de P et/ou A:

- pour un bâtiment libre sur terre-plein, P est égal à l'ensemble du pourtour du bâtiment et A est égal à l'aire de plancher totale sur terre-plein ;
- pour un VP qui est avoisinant à d'autres bâtiments ou parties de bâtiment (p. ex. une maison de rangée), on calcule P comme la longueur totale avec laquelle la surface du plancher sur terre-plein de ce VP est exposée à l'environnement extérieur et/ou à un EANC ; les longueurs qui séparent la surface du plancher sur terre-plein de celles des bâtiments voisins n'entrent donc pas dans le calcul de P (voir Figure 63) ;
- lorsqu'on détermine P et A, on prend les dimensions extérieures.

NOTE Les hauteurs d'un décalage vertical du niveau d'un plancher inférieur ne sont pas prises en considération dans le calcul de P pour déterminer la dimension caractéristique du plancher (voir 16.2.4), mais sont par contre bien comptées dans P pour déterminer la transmission thermique de la forme $P \cdot \Psi_g$ (pertes par les bords du plancher).

16.2.4 Dimension caractéristique du plancher inférieur

On définit, pour le plancher inférieur du VP, une dimension caractéristique de la surface au sol (B' en m) comme le rapport entre la surface au sol en question (A en m^2) et la moitié du périmètre (P en m) :

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad (\text{m}) \quad (57)$$

Cette dimension caractéristique de la surface au sol B' est la largeur d'un plancher infiniment long dans lequel un tronçon de longueur égale au demi-périmètre ($0,5 \cdot P$) sert de modélisation du plancher inférieur (voir 16.1).

NBN B 62-002 (2008)

Dans la détermination de B' , on applique, pour chaque sorte de plancher inférieur, les règles suivantes concernant les dimensions à utiliser pour A (voir 16.2.1) :

- les dimensions extérieures s'appliquent aux planchers sur terre-plein (non enterrés) et à un plancher situé au-dessus de caves ou de vides sanitaires non chauffés et renfermés (entièrement ou partiellement) par le sol ;
- les dimensions intérieures s'appliquent pour tous les types de planchers enterrés d'un VP ou de caves ou de vides sanitaires non chauffés.

NOTE Pour déterminer H_g , il faut toutefois multiplier une nouvelle fois les valeurs U obtenues pour le plancher inférieur du VP par l'aire au sol A , déterminée d'après les dimensions extérieures, tel que déterminé en 16.2.1.

16.2.5 Epaisseur équivalente d'une paroi en contact avec le sol

“L'épaisseur équivalente” (d_t pour les planchers et d_w pour les murs enterrés) est un terme arithmétique qui sert uniquement à simplifier la détermination de la valeur U des parois en contact avec le sol ou situées au-dessus d'espaces entièrement ou partiellement renfermés par le sol.

“L'épaisseur équivalente” est l'épaisseur d'une couche de sol qui a la même résistance thermique que la résistance thermique totale de la paroi considérée entre deux environnements (y compris les résistances thermiques à la surface, mais en excluant la résistance thermique du sol réellement présent).

16.2.6 Conventions relatives à la détermination des valeurs U dans les termes de H_g

16.2.6.1 Conductivité thermique du sol

Voir NBN EN ISO 13370 – § 5.1 – Caractéristiques thermiques du sol

Les formules de NBN EN ISO 13370 tiennent compte de la conductivité thermique du sol (λ) pour des types de sol spécifiques. Selon la nature du sol, on peut adopter les valeurs tabulées de NBN EN ISO 13370 ou les valeurs de l'annexe I.2.

Pour exprimer la performance thermique d'un bâtiment au moyen du terme H_T , NBN EN ISO 13789 prescrit l'adoption de la valeur par défaut $\lambda = 2$ W/mK en vue de déterminer le terme H_g .

16.2.6.2 Valeur U équivalente

La détermination de la valeur U de chaque élément de bâtiment du VP qui est en contact avec le sol ou avec des espaces non chauffés, renfermés entièrement ou partiellement par le sol, peut se faire directement suivant les formules de la norme NBN EN ISO 13370, soit indirectement sur la base d'une valeur U équivalente (U_{eq}) à multiplier par un facteur de réduction b (< 1), qui tient compte de l'effet tampon du sol de telle façon que $U = b.U_{eq}$.

Les deux méthodes de calcul sont expliquées dans les paragraphes suivants (16.3 à 16.6) pour tous les cas possibles.

16.3 Planchers inférieurs non enterrés du VP en contact direct avec le sol

Voir NBN EN ISO 13370 - § 9.1 – Planchers sur terre-plein

16.3.1 Détermination générale du terme H_g

Le coefficient de transfert de chaleur par transmission d'un espace chauffé (refroidi) du VP, situé au-dessus d'un plancher non enterré sur terre-plein, se calcule généralement suivant:

$$H_g = G_w \cdot (A_f \cdot U_f + P \cdot \Psi_g) \quad \text{W/K} \quad (58)$$

où: G_w (-) facteur de correction pour l'influence de l'eau souterraine, selon l'Annexe I.3 ;

A_f (m ²)	aire totale du plancher en contact avec le sol, déterminée selon les règles de 16.2.1 ;
U_f (W/m ² K)	valeur U du plancher en contact avec le sol qui tient compte de l'action tampon du sol et qui est calculée selon la procédure de 16.3.2 et/ou peut être adoptée comme valeur U précalculée dans les tableaux de l'annexe I.4 ;
P (m)	périmètre du plancher, déterminé selon 16.2.3 ;
Ψ_g (W/mK)	coefficient de transmission thermique linéique du raccordement du plancher au mur extérieur et à la fondation périphérique, calculé selon 12.2 ou 12.3 (ou les valeurs par défaut de l'Annexe I.5).

16.3.2 Détermination de U_f d'un plancher sur terre-plein non enterré selon la norme NBN EN ISO 13370

16.3.2.1 Procédure de calcul

Le plancher sur terre-plein se compose d'une dalle de plancher en contact avec le sol sur toute sa surface (supportée entièrement ou non par le sol) et située à la même hauteur ou tout près du niveau du sol. La dalle de plancher peut ne pas être isolée, isolée uniformément sur toute sa surface ou partiellement isolée (par exemple dans le cas d'une isolation périphérique horizontale ou verticale – voir Figure 64).

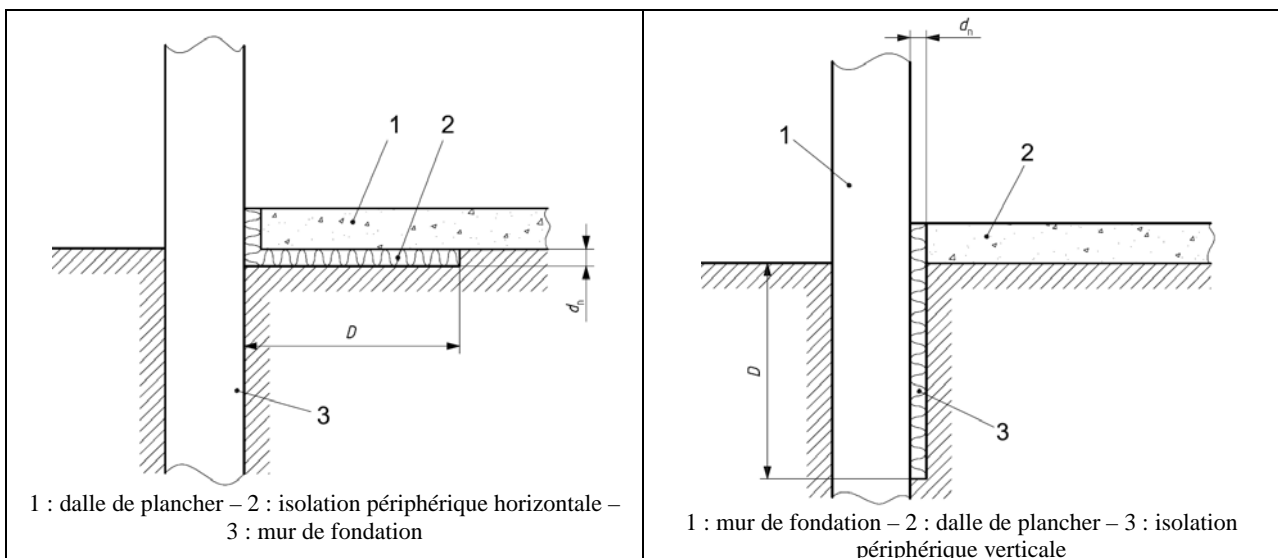


Figure 64 – Isolation périphérique horizontale et verticale

La Figure 65 représente schématiquement un plancher sur terre-plein (avec isolation périphérique) ainsi que les données d'entrée nécessaires pour le calcul. La détermination de la valeur U_f d'un plancher sur terre-plein s'effectue suivant la procédure de calcul du Tableau 18.

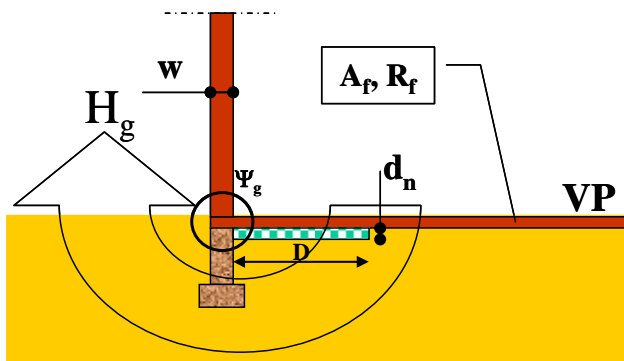


Figure 65 – Représentation schématique d'un plancher sur terre-plein

Données d'entrée nécessaires:

- sol: valeur λ (W/mK)
- mur extérieur: épaisseur totale (m)
- plancher: périmètre P (m), aire A_f (m²), $B' = 2.A_f/P$ et résistance thermique totale du plancher (de la surface intérieure jusqu'à la surface de séparation avec le sol) R_f (m²K/W)
- isolation périphérique: largeur ou profondeur D (m), épaisseur d_n (m), valeur λ_{ins} et résistance thermique $R_n = d_n/\lambda_{ins}$ (m²K/W)

étape 1	Calculez d_t suivant : $d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se})$ ($R_{si}=0,17$; $R_{se}=0,04$)
étape 2	Calculez U_o : $U_o = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right)$ si $d_t < B'$ ou $U_o = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t}$ si $d_t \geq B'$ (plancher bien isolé)
étape 3 (1)	En l'absence d'isolation périphérique : $U_f = U_o$ (59) En présence d'isolation périphérique : $U_f = U_o + 2 \Psi_e / B'$ (60) avec : • isolation périphérique horizontale : $\Psi_e = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln \left(\frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right]$ • isolation périphérique verticale : $\Psi_e = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right]$ où : $d' = R_n \cdot \lambda - d_n$ Si l'on combine isolation périphérique horizontale et verticale (1), on retient la valeur Ψ_e qui a la plus grande influence (réduction) sur U_f . Il n'est pas nécessaire de calculer une valeur Ψ_e supplémentaire si le terme pont thermique $P \cdot \Psi_g$ contient également l'effet de l'isolation périphérique lors de la détermination de la valeur H_g selon le § 16.3.1.
(1) Plus de détails concernant l'isolation périphérique horizontale et verticale en annexe B de NBN EN ISO 13370	

Tableau 18 – Procédure de calcul pour la détermination de la valeur U_f d'un plancher sur terre-plein

16.3.2.2 Tableaux de valeurs U_f précalculées pratiques

L'Annexe I.4 donne plusieurs valeurs U_f précalculées sur la base de la procédure de calcul de 16.3.2.1 pour les cas les plus fréquents suivants :

- plancher sur terre-plein sans isolation périphérique (voir Tableau I 3)
- plancher sur terre-plein avec isolation périphérique horizontale (3 cm d'épaisseur et 1 m de large (voir Tableau I 5)
- plancher sur terre-plein avec isolation périphérique horizontale (3 cm d'épaisseur et 2 m de large) (voir Tableau I 7)
- plancher sur terre-plein avec isolation périphérique horizontale (5 cm d'épaisseur et 1 m de large) (voir Tableau I 9)

NOTE Les conditions de bord adoptées pour les calculs sont mentionnées auprès de chaque tableau. Pour les cas qui ne rentrent pas dans le domaine d'application des conditions de bord, il faut effectuer les calculs détaillés selon le § 16.3.2.1.

16.3.3 Détermination de U_f en appliquant un facteur de correction (b) sur la valeur équivalente $U_{f,eq}$ du plancher

16.3.3.1 Principe

Lorsqu'on détermine la valeur équivalente $U_{f,eq}$, l'effet tampon du sol est négligé dans un premier temps en considérant le plancher sur terre-plein comme un plancher au-dessus de l'environnement extérieur. La valeur équivalente $U_{f,eq}$ déterminée de la sorte est ensuite multipliée par un facteur de réduction $b (< 1)$ qui corrige (réduit) le transfert de chaleur par le plancher et tient ainsi compte dans le calcul de l'effet tampon du sol.

Le coefficient de transfert de chaleur par transmission par le sol de l'espace chauffé (refroidi) du VP peut ainsi être calculé comme suit pour les planchers en contact direct avec le sol:

$$H_g = G_w \cdot (A_f \cdot b \cdot U_{f,eq} + P \cdot \Psi_g) \quad \text{W/K} \quad (61)$$

- où:
- A_f (m²) aire totale du plancher en contact avec le sol, déterminée selon les règles de 16.2.1 ;
 - P (m) périmètre du plancher, déterminé selon le § 16.2.3 ;
 - Ψ_g (W/mK) coefficient de transmission thermique linéique du raccordement du plancher au mur extérieur et à la fondation périphérique, calculé selon les valeurs par défaut de l'Annexe I.6.
 - $U_{f,eq}$ (W/m²K) la valeur équivalente U_f du plancher, sans tenir compte de l'effet tampon du sol et déterminée comme pour un plancher attenant à l'environnement extérieur, selon :

$$U_{f,eq} = \frac{1}{R_{si} + R_f + R_{se}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (62)$$

- où:
- R_{si} (m²K/W) la résistance thermique d'échange à la surface intérieure (= 0,17) ;
 - R_{se} (m²K/W) la résistance thermique d'échange à la surface extérieure (= 0,04) ;
 - R_f (m²K/W) la résistance thermique totale de toutes les couches du plancher entre la surface intérieure et la surface de contact avec le sol.
- b (-) facteur de réduction qui incorpore dans le calcul l'effet tampon du sol et qui est égal au rapport $U_f/U_{f,eq}$ (voir 16.3.3.2).

16.3.3.2 Tableaux de facteurs de réduction précalculés (valeurs b)

Sur la base de la procédure de calcul de 16.3.3.1, l'Annexe I 4 donne des facteurs de réduction précalculés (valeurs b) correspondant aux mêmes cas qu'en 16.3.2.2:

- plancher sur terre-plein sans isolation périphérique (voir Tableau I 4)
- plancher sur terre-plein avec isolation périphérique horizontale (3 cm d'épaisseur et 1 m de large) (voir Tableau I 6)
- plancher sur terre-plein avec isolation périphérique horizontale (3 cm d'épaisseur et 2 m de large) (voir Tableau I 8)
- plancher sur terre-plein avec isolation périphérique horizontale (5 cm d'épaisseur et 1 m de large) (voir Tableau I 10)

NOTE Les valeurs annexes adoptées pour les calculs sont mentionnées auprès de chaque tableau. Pour les cas qui ne rentrent pas dans le domaine d'application des conditions de bord, il faut effectuer les calculs détaillés selon le § 16.3.2.1.

16.4 Planchers et murs enterrés du VP en contact direct avec le sol

Voir NBN EN ISO 13370 - § 9.3 – Parois des caves chauffées

16.4.1 Détermination générale du terme H_g

Dans le cas d'espaces chauffés (refroidis) qui font partie du VP et dont le niveau du plancher inférieur est situé sous le niveau du sol (p. ex. les caves chauffées), la transfert de chaleur est déterminé par un terme pour le plancher enterré, un terme pour la partie enterrée du mur et un terme qui caractérise l'effet de pont thermique du raccordement plancher-mur. Le coefficient de transfert de chaleur par transmission par le sol est alors généralement déterminé par l'expression suivante:

$$H_g = G_w \cdot (A_{bf} \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi_g) \quad \text{W/K} \quad (63)$$

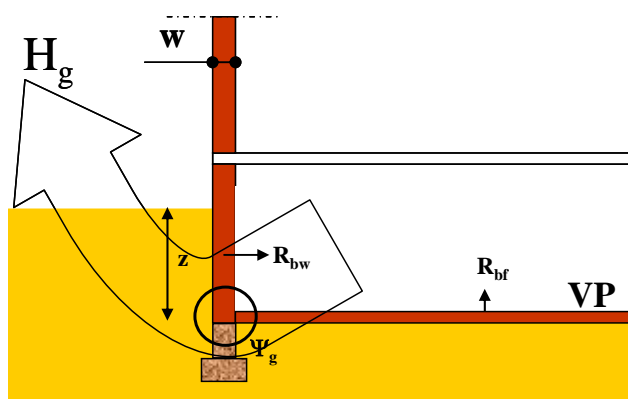
- où:
- G_w (-) facteur de correction pour l'influence de l'eau souterraine, selon l'Annexe I.3 ;
 - A_{bf} (m²) aire du plancher enterré, calculée avec les dimensions extérieures ;
 - U_{bf} (W/m²K) valeur U du plancher enterré (effet tampon du sol compris), calculée selon la procédure de calcul de 16.4.2.1 et/ou pouvant être reprise comme valeur U_{bf} précalculée dans les tableaux de l'Annexe I 4 ;

z (m)	profondeur moyenne du mur enterré (mesurée entre le niveau du sol et le niveau du plancher enterré) ;
P (m)	périmètre du mur (ou plancher) enterré, déterminé selon le § 16.2.3 ;
U_{bw} (W/m ² K)	valeur U du mur enterré (effet tampon du sol compris), calculée selon la procédure de calcul de 16.4.2.1 et/ou pouvant être reprise comme valeur U_{bw} précalculée dans les tableaux de l'Annexe I 4 ;
Ψ_g (W/mK)	coefficient de transmission thermique linéique du raccordement plancher-mur (pont thermique), calculé selon le § 12.2 ou 12.3 (ou valeurs par défaut de l'Annexe I 6).

16.4.2 Détermination de la valeur U de la partie enterrée du VP selon la norme NBN EN ISO 13370

16.4.2.1 Procédure de calcul

La Figure 66 représente schématiquement un espace chauffé (refroidi) à l'intérieur du VP, dont le plancher et une partie des parois verticales se trouvent sous le niveau du sol (à une profondeur z) et sont en contact direct avec le sol. On déterminera des flux thermiques distincts pour les parties enterrées du plancher et des murs, car leur composition (et leur isolation) ainsi que leur profondeur moyenne sont différentes.



Données d'entrée nécessaires:

- sol valeur λ (W/mK)
- mur enterré: épaisseur w (m) mesurée à hauteur du niveau de sol, résistance thermique R_{bw} (m²K/W), profondeur moyenne dans le sol z (m)
- plancher enterré: périmètre P (m), aire A_{bf} (m²), $B' = 2.A_{bf}/P$ (m) et résistance thermique R_{bf} (m²K/W)

Figure 66 – Représentation schématique de la partie enterrée du VP

Le Tableau 19 donne la procédure de calcul pour la détermination de la valeur U des parois enterrées des espaces chauffés qui appartiennent au VP. La procédure détermine les différents termes pour le plancher enterré (U_{bf}) et le mur enterré (U_{bw}), nécessaires pour calculer H_g selon l'expression (63).

étape 1	Calculez d_t pour le <u>plancher enterré</u> selon : $(R_{si}=0,17 ; R_{se}=0,04)$	$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_{bf} + R_{se})$
étape 2	Calculez U_{bf} pour le <u>plancher enterré</u> selon :	
	$U_{bf} = \frac{2.\lambda}{\pi.B'+d_t+0,5.z} \ln\left(\frac{\pi.B'}{d_t+0,5.z} + 1\right)$ si $(d_t + 0,5.z) < B'$ (plancher peu ou pas isolé) (64)	
	$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457.B'+d_t+0,5.z}$ si $(d_t + 0,5.z) \geq B'$ (plancher enterré bien isolé) (65)	
étape 3	Calculez d_w pour le <u>mur enterré</u> selon : $(R_{si}=0,13 ; R_{se}=0,04)$	$d_w = \lambda (R_{si} + R_{bw} + R_{se})$
étape 4	Calculez ensuite U_{bw} pour le <u>mur enterré</u> selon :	
	$U_{bw} = \frac{2.\lambda}{\pi.z} \left(1 + \frac{0,5.d_t}{d_t+z}\right) \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right)$	si $d_w \geq d_t$ (66)

$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_w}{d_w + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right)$	si $d_w < d_t$ (67)
--	--

Tableau 19 - Procédure de calcul pour la détermination de la valeur U de la partie enterrée du VP

NOTE Le transfert de chaleur par la partie non enterrée du mur vertical de l'espace chauffé (refroidi) est calculé dans le terme H_D (transmission thermique directe vers l'environnement extérieur).

16.4.2.2 Tableaux de valeurs U précalculées pratiques

L'Annexe I.4 donne plusieurs valeurs U précalculées sur la base de la procédure de calcul de 16.4.2.1 pour les planchers enterrés dans les cas suivants :

- Valeur U_{bf} de plancher enterré pour une profondeur de plancher de 1 mètre sous le niveau du sol (voir Tableau I 11)
- Valeur U_{bf} de plancher enterré pour une profondeur de plancher de 2 mètres sous le niveau du sol (voir Tableau I 15)
- Valeur U_{bf} de plancher enterré pour une profondeur de plancher de 3 mètres sous le niveau du sol (voir Tableau I 19)

Des valeurs U_{bw} précalculées sont données dans les mêmes cas pour les murs enterrés respectivement aux Tableaux I 12, I 16 et I 20.

Le Tableau I 31 est un tableau alternatif qui donne des valeurs précalculées de U_{bw} pour des profondeurs de plancher entre 1 et 3 mètres et où la résistance thermique du plancher (R_{bf}) est ajoutée comme paramètre d'influence.

NOTE Les conditions de bord adoptées pour les calculs sont mentionnées auprès de chaque tableau. Pour les cas qui ne rentrent pas dans le domaine d'application des conditions de bord, il faut effectuer les calculs détaillés selon le § 16.4.2.1.

16.4.3 Détermination de la valeur U équivalente des parois enterrées du VP

16.4.3.1 Principe

Lorsqu'on détermine la valeur U équivalente des parois enterrées, on néglige d'abord l'effet tampon du sol en considérant les parois enterrées comme des parois attenantes à l'environnement extérieur. Les valeurs équivalentes $U_{bf,eq}$ et $U_{bw,eq}$ ainsi déterminées, sont ensuite multipliées par un facteur de réduction b_f et b_w (< 1) qui corrige (réduit) le transfert de chaleur à travers les parois concernées dans le but d'intégrer ainsi l'effet tampon du sol dans le calcul.

Le coefficient de transfert de chaleur par transmission par le sol peut donc être calculé comme suit pour les parois enterrées du VP:

$$H_g = G_w \cdot (A_{bf} \cdot b_f \cdot U_{bf,eq} + z \cdot P \cdot b_w \cdot U_{bw,eq} + P \cdot \Psi_g) \quad \text{W/K} \quad (68)$$

où: $U_{bf,eq}$ (W/m²K) la valeur équivalente U_{bf} du plancher enterré, sans tenir compte de l'effet tampon du sol et déterminée comme pour un plancher attendant à l'environnement extérieur, selon :

$$U_{bf,eq} = \frac{1}{R_{si} + R_{bf} + R_{se}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (69)$$

- où:
- R_{si} (m²K/W) la résistance thermique d'échange à la surface intérieure (= 0,17) ;
 - R_{se} (m²K/W) la résistance thermique d'échange à la surface extérieure (= 0,04) ;
 - R_{bf} (m²K/W) la résistance thermique totale de toutes les couches du plancher enterré, entre la surface intérieure et la surface de contact avec le sol ;

$U_{bw,eq}$ (W/m²K) la valeur équivalente U_{bw} du plancher enterré, sans tenir compte de l'effet tampon du sol et déterminée comme pour un mur attenant à l'environnement extérieur, selon :

$$U_{bw,eq} = \frac{1}{R_{si} + R_{bw} + R_{se}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (70)$$

où: R_{si} (m²K/W) la résistance thermique d'échange à la surface intérieure (= 0,13) ;
 R_{se} (m²K/W) la résistance thermique d'échange à la surface extérieure (= 0,04) ;
 R_{bw} (m²K/W) la résistance thermique totale de toutes les couches du mur enterré, entre la surface intérieure et la surface de contact avec le sol
 b_f et b_w (-) facteurs de réduction qui incorporent dans le calcul l'effet tampon du sol et qui sont égaux aux rapports $U_{bf}/U_{bf,eq}$ et $U_{bw}/U_{bw,eq}$ (voir 16.4.3.2).

16.4.3.2 Tableaux de facteurs de réduction précalculés (valeurs b)

Sur la base de la procédure de calcul de 16.4.3.1, l'Annexe I 4 donne des facteurs de réduction précalculés (valeurs b_f et b_w) correspondant aux mêmes cas qu'en 16.4.2.2 :

- Valeur b_f d'un plancher enterré pour une profondeur de plancher de 1 mètre sous le niveau du sol (voir Tableau I 13) ;
- Valeur b_f d'un plancher enterré pour une profondeur de plancher de 2 mètres sous le niveau du sol (voir Tableau I 17) ;
- Valeur b_f d'un plancher enterré pour une profondeur de plancher de 3 mètres sous le niveau du sol (voir Tableau I 21).

Les valeurs b_w précalculées sont données dans les mêmes cas pour les murs enterrés respectivement aux Tableaux I 14, I 18 et I 22.

Le Tableau I 32 est un tableau alternatif qui donne des valeurs précalculées de b_w pour des profondeurs de plancher entre 1 et 3 mètres et où la résistance thermique du plancher (R_{bf}) est ajoutée comme paramètre d'influence.

NOTE Les conditions de bord adoptées pour les calculs sont mentionnées auprès de chaque tableau. Pour les cas qui ne rentrent pas dans le domaine d'application des conditions de bord, il faut effectuer les calculs détaillés selon le § 16.4.2.1.

16.5 Planchers inférieurs du VP au-dessus de vides sanitaires non chauffés

Voir NBN EN ISO 13370 - § 9.2 – Planchers au-dessus de vides sanitaires.

Voir NBN EN ISO 13370 – Annexe E – Ventilation des vides sanitaires.

16.5.1 Détermination générale du terme H_g

Si le plancher inférieur du VP est situé au-dessus d'un vide sanitaire non chauffé, le transfert de chaleur s'effectue à travers le plancher depuis l'espace chauffé (refroidi) vers l'environnement extérieur, non seulement via les parties de parois enterrées du vide sanitaire, mais aussi via les parties de paroi situées au-dessus du niveau du sol. En outre, il y a aussi un flux de déperdition thermique par ventilation si le vide sanitaire est équipé d'ouvertures de ventilation.

Le coefficient de transfert de chaleur par transmission d'un espace chauffé (refroidi) au-dessus d'un vide sanitaire non chauffé (extérieur au VP) se calcule comme suit:

$$H_g = A_f \cdot U + P \cdot \Psi_g \quad \text{W/K} \quad (71)$$

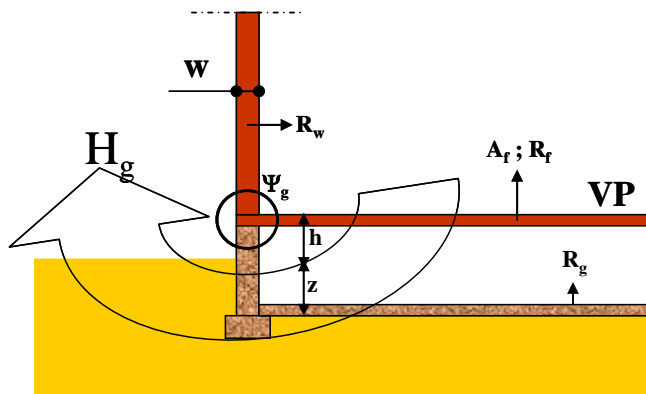
où: A_f (m²) aire du plancher au-dessus du vide sanitaire non chauffé ;
 U (W/m²K) valeur U de ce plancher, calculée selon la procédure de calcul de 16.5.2 et/ou les valeurs U précalculées du Tableau I 23 ou I 25 ;
 P (m) périmètre du plancher, déterminé selon le § 16.2.3 ;

Ψ_g (W/mK) coefficient de transmission thermique linéique du raccordement plancher-mur extérieur, calculé selon le § 12.2 ou 12.3 (ou valeurs par défaut de l'Annexe I.6).

16.5.2 Détermination de la valeur U des planchers au-dessus de vides sanitaires selon la norme NBN EN ISO 13370

16.5.2.1 Procédure de calcul

Un plancher situé au-dessus d'un vide sanitaire non chauffé, entièrement ou partiellement renfermé par le sol, n'a pas de contact direct avec le sol (voir Figure 67), mais le flux de déperdition thermique s'écoule de l'espace chauffé vers l'environnement extérieur aussi bien par les parties de paroi du vide sanitaire situées au-dessus du sol que par les parties de paroi situées contre le sol. Une déperdition supplémentaire survient si l'espace sous-jacent est ventilé par de l'air extérieur (voir annexe E de NBN EN ISO 13370). Lorsqu'on détermine le flux thermique en direction du massif de terre via le fond du vide sanitaire, on tient compte d'un facteur de correction qui incorpore l'influence de l'eau souterraine éventuellement présente. La détermination du facteur de correction G_w est expliquée plus en détail à l'Annexe I.3.



Valeurs d'entrée nécessaires:

- sol: valeur λ (W/mK), facteur de correction pour l'eau souterraine G_w (-)
- mur du vide sanitaire: épaisseur w (m) à hauteur du niveau de sol, résistance thermique R_w (m²K/W), profondeur moyenne dans le sol z (m)
- plancher au-dessus du vide sanitaire: périmètre P (m), aire A_f (m²), $B' = 2.A_f/P$ (m), résistance thermique R_f (m²K/W) et hauteur moyenne au-dessus du niveau du sol h (m)
- plancher du vide sanitaire (si présent): résistance thermique R_g (m²K/W)
- ventilation du vide sanitaire: aire des ouvertures de ventilation ε (m²/m), vitesse du vent v (m/s) et facteur d'abri du vent f_w (-)

Figure 67 – Représentation schématique d'un plancher au-dessus d'un vide sanitaire

Le calcul de détermination de la valeur U d'un plancher au-dessus d'un vide sanitaire se déroule selon la procédure du Tableau 20.

étape 1	Calculez U_f (plancher au-dessus du vide sanitaire) selon EN ISO 6946 : $U_f = \frac{1}{R_{si} + R_f + R_{se}} \quad (R_{si}=0,17)$
étape 2	Calculez d_g selon : $d_g = w + \lambda (R_{si} + R_g + R_{se})$ $(R_{si}=0,17 ; R_{se}=0,04)$
étape 3	Calculez d_w selon : $d_w = \lambda (R_{si} + R_w + R_{se})$ $(R_{si}=0,13 ; R_{se}=0,04)$
étape 4	Calculez U_g (parties de mur du vide sanitaire en contact avec le sol) selon : $U_g = G_w \cdot \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_g} \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_g} + 1 \right) \quad (\text{si } z \leq 0,5 \text{ m})$ ou : $U_g = G_w \cdot (U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw}/A) \quad (\text{si } z > 0,5 \text{ m})$ avec : $U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_g + 0,5 \cdot z} \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_g + 0,5 \cdot z} + 1 \right)$

	et avec : $U_{bw} = \frac{2.\lambda}{\pi.z} \left(1 + \frac{0,5.d_g}{d_g + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right)$
étape 5	Calculez U_w (partie de mur du vide sanitaire au-dessus du niveau de sol) selon EN ISO 6946 $U_w = \frac{1}{R_{si} + R_w + R_{se}} \quad (R_{si}=0,13 ; R_{se}=0,04)$
étape 6	Calculez U_x (partie de mur au-dessus du niveau de sol + éventuellement un terme de ventilation): $U_x = 2.h.U_w / B' \quad (\text{vide sanitaire non ventilé})$ ou $U_x = 2.h.U_w / B' + 1450.\varepsilon.v.f_w / B' \quad (\text{vide sanitaire ventilé (1)})$
étape 7	Calculez U selon : $\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (72)$
(1)	$f_w = 0,02$ (abrité) - $f_w = 0,05$ (moyenne) - $f_w = 0,02$ (exposé) $v = 4$ m/s (vitesse moyenne du vent) et $\varepsilon =$ aire des ouvertures de ventilation, exprimée en m ² par périmètre courant (pour plus de détails sur la ventilation des vides sanitaires: voir NBN EN ISO 13370 – Annexe E)

Tableau 20 - Procédure de calcul pour la détermination de la valeur U d'un plancher au-dessus d'un vide sanitaire

16.5.2 Tableaux de valeurs U précalculées pratiques

L'Annexe I donne plusieurs valeurs U précalculées sur la base de la procédure de calcul du Tableau 20 pour les planchers situés au-dessus de vides sanitaires dans les cas suivants :

- plancher au-dessus de vide sanitaire non ventilé (voir Tableau I 23)
- plancher au-dessus de vide sanitaire ventilé (voir Tableau I 25)

NOTE Les conditions de bord adoptées pour les calculs sont mentionnées auprès de chaque tableau. Pour les cas qui ne rentrent pas dans le domaine d'application des conditions de bord, il faut effectuer les calculs détaillés selon le § 16.5.2.1.

16.5.3 Détermination de la valeur équivalente U de planchers au-dessus de vides sanitaires

16.5.3.1 Principe

Le coefficient de transfert de chaleur par transmission vers l'environnement extérieur à travers les vides sanitaires non chauffés (H_g) peut se déterminer, pour le plancher situé au-dessus du vide sanitaire, en appliquant un facteur de réduction (b) dans l'expression suivante :

$$H_g = A_f \cdot b \cdot U_{eq} + P \cdot \Psi_g \quad \text{W/K} \quad (73)$$

où: A_f (m²) aire du plancher au-dessus du vide sanitaire non chauffé ;
 P (m) périmètre du plancher, déterminé selon le § 16.2.3 ;
 Ψ_g (W/mK) coefficient de transmission thermique linéique du raccordement plancher-mur extérieur, calculé selon le § 12.2 ou 12.3 (ou valeurs par défaut de l'Annexe I).
 U_{eq} (W/m²K) la valeur U équivalente du plancher, sans tenir compte de l'effet tampon du sol et déterminée comme pour un plancher attendant à l'environnement extérieur, selon :

$$U_{eq} = \frac{1}{R_{si} + R_f + R_{se}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (74)$$

où: R_{si} (m²K/W) la résistance thermique d'échange à la surface intérieure (= 0,17) ;
 R_{se} (m²K/W) la résistance thermique d'échange à la surface extérieure (= 0,04) ;
 R_f (m²K/W) la résistance thermique totale de toutes les couches du plancher entre la surface intérieure et la surface de contact avec le vide sanitaire.

- b (-) facteur de réduction qui incorpore dans le calcul l'effet tampon du sol et qui est égal au rapport U/U_{eq} (voir 16.5.3.2).

16.5.3.2 Tableaux de facteurs de réduction précalculés (valeurs b)

Sur la base de la procédure de calcul de 16.5.3.1, l'Annexe I 4 donne des facteurs de réduction précalculés (valeurs b) correspondant aux mêmes cas qu'en 16.5.2.2:

- plancher au-dessus de vide sanitaire non ventilé (voir Tableau I 24)
- plancher au-dessus de vide sanitaire ventilé (voir Tableau I 26)

NOTE Les conditions de bord adoptées pour les calculs sont mentionnées auprès de chaque tableau. Pour les cas qui ne rentrent pas dans le domaine d'application des conditions de bord, il faut effectuer les calculs détaillés selon le § 16.5.2.1.

16.6 Planchers inférieurs du VP au-dessus d'espaces non chauffés entièrement ou partiellement renfermés par le sol

Voir NBN EN ISO 13370 - § 9.4 – Caves non chauffées

16.6.1 Détermination générale du terme H_g

EN ISO 13370 donne une procédure de calcul pour les planchers inférieurs du VP situés au-dessus de caves non chauffées ; cette procédure détermine la transmission thermique vers l'environnement extérieur via une cave non chauffée sur la base d'une valeur U globale qui combine les flux thermiques à travers toutes les parties de paroi situées au-dessus et en-dessous du sol de cette cave, y compris éventuellement un terme de ventilation.

En général, on détermine le terme H_g suivant :

$$H_g = A_f \cdot U + P \cdot \Psi_g \quad \text{W/K} \quad (75)$$

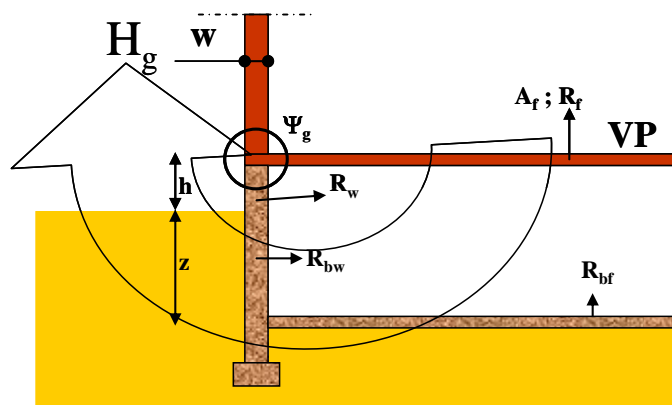
- où:
- | | |
|----------------------------------|---|
| U (W/m ² K) | valeur U déterminée selon la procédure de calcul de 16.6.2 ; |
| A _f (m ²) | aire du plancher au-dessus de la cave non chauffée ; |
| P (m) | périmètre du plancher, déterminé selon le § 16.2.3 ; |
| Ψ _g (W/mK) | coefficient de transmission thermique linéique du raccordement plancher-mur extérieur, calculé selon le § 12.2 ou 12.3 (ou valeurs par défaut de l'Annexe I). |

16.6.2 Détermination de la valeur U des planchers au-dessus de caves non chauffées selon la norme NBN EN ISO 13370

16.6.2.1 Procédure de calcul

La procédure de calcul pour les caves non chauffées est une combinaison :

- de la procédure relative aux caves chauffées, en ce qui concerne les éléments de paroi enterrés (voir 16.4) ;
- de la procédure relative aux planchers au-dessus de vides sanitaires, en ce qui concerne les éléments de paroi situés au-dessus du sol et la ventilation possible (voir 16.5).



Données d'entrée nécessaires:

- sol: valeur λ (W/mK), facteur de correction pour l'eau souterraine G_w ;
- plancher au-dessus de la cave: résistance thermique R_f (m^2K/W) et aire A_f (m^2);
- mur de cave: épaisseur w (m) à hauteur du niveau de sol, résistance thermique R_{bw} (partie enterrée) et R_w (partie au-dessus du sol) (m^2K/W), profondeur moyenne dans le sol z (m), hauteur moyenne de la partie au-dessus du sol h (m) ;
- plancher de cave: périmètre P (m), aire A_{bf} (m^2), $B' = 2.A_f/P$ (m) et résistance thermique R_{bf} (m^2K/W) ;
- ventilation de la cave: taux de ventilation n (h^{-1}) et volume V (m^3).

Figure 68 – Représentation schématique d'un plancher du VP au-dessus d'une cave non chauffée

étape 1	Calculez d_t pour le <u>plancher de cave</u> selon : $d_t = w + \lambda (R_{si} + R_{bf} + R_{se})$ ($R_{si}=0,17$; $R_{se}=0,04$)
étape 2	Calculez U_{bf} pour le <u>plancher de cave</u> selon : $U_{bf} = G_w \cdot \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t + 0,5 \cdot z} + 1 \right) \quad (76)$ si $(d_t + 0,5 \cdot z) < B'$ (plancher de cave peu ou pas isolé) $U_{bf} = G_w \cdot \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \quad (77)$ si $(d_t + 0,5 \cdot z) \geq B'$ (plancher de cave bien isolé)
étape 3	Calculez d_w pour le <u>mur de cave</u> selon : $d_w = \lambda (R_{si} + R_{bw} + R_{se})$ ($R_{si}=0,13$; $R_{se}=0,04$)
étape 4	Calculez U_{bw} pour le <u>mur de cave</u> selon : $U_{bw} = G_w \cdot \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_t}{d_t + z} \right) \cdot \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (78)$ si $d_w \geq d_t$ $U_{bw} = G_w \cdot \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_w}{d_w + z} \right) \cdot \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (79)$ si $d_w < d_t$

<p>étape 5</p>	<p>Calculez U_f pour le <u>plancher au-dessus de la cave</u> selon EN ISO 6946 :</p> $U_f = \frac{1}{R_{si} + R_f + R_{se}} \quad (R_{si}=0,17)$ <p>Calculez U_w pour la <u>partie de mur au-dessus du niveau de sol</u> selon EN ISO 6946 :</p> $U_w = \frac{1}{R_{si} + R_w + R_{se}} \quad (R_{si}=0,13 ; R_{se}=0,04)$
<p>étape 6</p>	<p>Calculez la <u>valeur U globale</u> (de l'environnement intérieur vers l'environnement extérieur via la cave non chauffée) :</p> <ul style="list-style-type: none"> pour les caves <u>non ventilées</u>: $\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A_f}{A_{bf} \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + h \cdot P \cdot U_w} \quad (80)$ pour les caves <u>ventilées</u>: $\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A_f}{A_{bf} \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + h \cdot P \cdot U_w + 0,33 \cdot n \cdot V} \quad (81)$ <p>n (h^{-1}) : le taux de ventilation n de la cave sous-jacente:</p> <ul style="list-style-type: none"> = 0 pour les caves étanches à l'air et non ventilées ; = 0,3 comme valeur par défaut pour les caves ventilées naturellement et si on ne connaît pas davantage de données spécifiques ; = (\dot{V}_{mech}/V) pour les caves à ventilation mécanique, où \dot{V}_{mech} (m^3/h) représente le débit de ventilation mécanique de conception (avec de l'air extérieur) et V (m^3) le volume d'air de la cave.

Tableau 21 - Procédure de calcul pour la détermination de la valeur U de planchers au-dessus des caves non chauffées

Le Tableau 21 reprend toute la procédure du calcul servant à déterminer la valeur U d'un plancher au-dessus d'une cave non chauffée. La procédure détermine des valeurs U distinctes pour le plancher au-dessus de la cave (U), le plancher de cave enterré (U_{bf}), le mur de cave enterré (U_{bw}) et le mur de cave situé au-dessus du sol (U_w).

Enfin, la transmission thermique totale (entre l'environnement intérieur et l'environnement extérieur par le plancher au-dessus de la cave, par toutes les parties de parois enterrées et par les parties de parois situées au-dessus du niveau du sol) est combinée en une valeur U unique qui contient aussi éventuellement un terme de ventilation.

16.6.2.2 Tableaux de valeurs U précalculées pratiques

Sur la base de la procédure de calcul du Tableau 21, l'Annexe I donne une série de valeurs U précalculées pour un plancher au-dessus d'une cave non chauffée et non ventilée (voir Tableau I 27). Pour les planchers au-dessus d'une cave ventilée naturellement, le Tableau I 33 donne les valeurs U correspondantes.

NOTE Les conditions de bord adoptées pour les calculs sont mentionnées auprès de chaque tableau. Pour les cas qui ne rentrent pas dans le domaine d'application des conditions de bord, il faut effectuer les calculs détaillés selon le § 16.6.2.1.

16.6.3 Détermination de la valeur équivalente U de planchers au-dessus de caves non chauffées (non ventilées)

16.6.3.1 Principe

Le coefficient de transfert de chaleur par transmission vers l'environnement extérieur à travers les caves non chauffés (H_g) peut se déterminer, pour le plancher situé au-dessus de la cave, en appliquant un facteur de réduction (b) dans l'expression suivante :

$$H_g = A_f \cdot b \cdot U_{eq} + P \cdot \Psi_g \quad \text{W/K} \quad (82)$$

- où:
- A_f (m²) aire du plancher au-dessus de la cave non chauffée ;
 - P (m) périmètre du plancher, déterminé selon le § 16.2.3 ;
 - Ψ_g (W/mK) coefficient de transmission thermique linéique du raccordement plancher-mur extérieur, calculé selon le § 12.2 ou 12.3 (ou les valeurs par défaut de l'Annexe I).
 - U_{eq} (W/m²K) la valeur U équivalente du plancher, sans tenir compte de l'effet tampon du sol et déterminée comme pour un plancher attendant à l'environnement extérieur, selon :

$$U_{eq} = \frac{1}{R_{si} + R_f + R_{se}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (83)$$

- où:
- R_{si} (m²K/W) la résistance thermique d'échange à la surface intérieure (= 0,17) ;
 - R_{se} (m²K/W) la résistance thermique d'échange à la surface extérieure (= 0,04) ;
 - R_f (m²K/W) la résistance thermique totale de toutes les couches du plancher entre la surface intérieure et la surface de contact avec la cave.
 - b (-) facteur de réduction qui incorpore dans le calcul l'effet tampon du sol et qui est égal au rapport U/U_{eq} (voir 16.6.3.2).

NOTE Pour les caves ventilées (ventilation mécanique ou non), il faut appliquer la méthode de calcul précise.

16.6.3.2 Tableaux de facteurs de réduction précalculés (valeurs b)

Sur la base de la procédure de calcul de 16.6.3.1, l'Annexe I 4 donne des facteurs de réduction précalculés (valeurs b), correspondant à un plancher au-dessus d'une cave non chauffée et non ventilée (voir Tableau I 28). Pour les planchers au-dessus d'une cave ventilée naturellement, le Tableau I 34 donne les valeurs b correspondantes.

NOTE Les conditions de bord adoptées pour les calculs sont mentionnées auprès de chaque tableau. Pour les cas qui ne rentrent pas dans le domaine d'application des conditions de bord, il faut effectuer les calculs détaillés selon le § 16.6.2.1.

17. Coefficient de transfert de chaleur par transmission (H_U) entre des espaces chauffés (refroidis) et l'environnement extérieur à travers des espaces adjacents non chauffés (EANC)³

Voir NBN EN ISO 13789 (§ 6) – Coefficient de transfert thermique via des espaces non chauffés

Voir NBN EN ISO 13789 (§ 8.4) – Taux de ventilation des espaces non chauffés

Voir NBN EN ISO 13789 (Annexe A) – Température dans les espaces non chauffés

17.1 Généralités

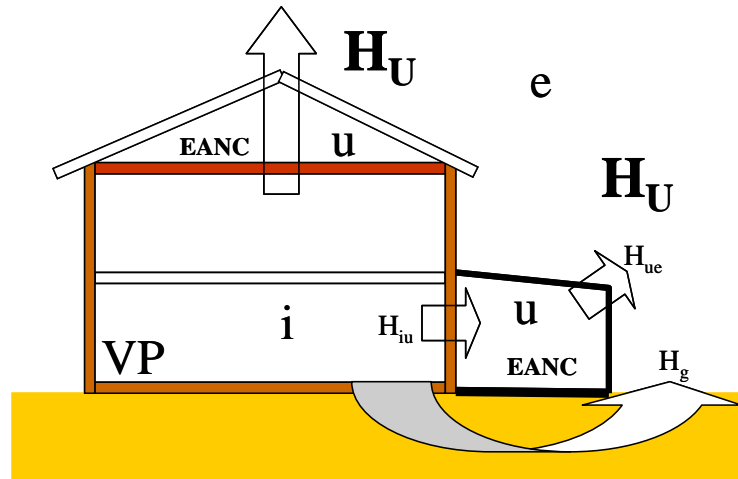


Figure 69 – Flux thermiques dans un EANC

L'EANC constitue un espace tampon thermique (situé au-dessus du niveau de sol) entre les espaces chauffés (refroidis) à l'intérieur du volume protégé et l'environnement extérieur, par lequel la transmission thermique entre le VP et l'environnement extérieur est tempérée. Par ailleurs, on peut également exploiter les gains solaires si l'EANC est pourvu de parois extérieures vitrées.

Si un ou plusieurs EANC sont présents pour le volume protégé d'un bâtiment, on calcule le terme H_U pour l'ensemble de ces EANC lorsqu'on détermine le coefficient de transmission thermique H_T .

En règle générale, on peut déterminer la valeur H_U en établissant un bilan thermique de tous les flux thermiques qui traversent l'EANC par transmission et par ventilation. Ces flux thermiques sont représentés schématiquement à la Figure 69 :

- H_{iu} (W/K) : le flux thermique qui traverse les murs de séparation entre l'espace chauffé (refroidi) et l'EANC, par transmission et par ventilation ;
- H_{ue} (W/K) : le flux thermique qui traverse les murs de séparation entre l'EANC et l'environnement extérieur, par transmission et par ventilation ;

Le flux thermique qui traverse le plancher inférieur de l'espace chauffé (refroidi) par le sol en direction de l'environnement extérieur est calculé, pour le volume protégé, dans le terme H_g comme si l'EANC n'existait pas (voir aussi 16.2.1).

Si l'EANC est pourvu d'importantes surfaces vitrées (p. ex. une véranda), il peut aussi présenter, sous l'effet de l'ensoleillement, d'importants gains thermiques qui peuvent influencer fortement le bilan thermique à l'intérieur de cet espace. Ces gains solaires sont négligés pour la détermination des déperditions calorifiques (dimensionnement des installations), mais il faut en tenir compte dans le cas de

³ Il s'agit ici uniquement d'espaces non chauffés à usage courant (d'une épaisseur supérieure à 0,3 m) qui se trouvent au-dessus du niveau du sol et qui se situent entre le VP et l'environnement extérieur (voir 13.2.2).

la détermination des besoins en énergie et en refroidissement. Dans ce cas, on détermine la puissance Φ (W) qui pénètre dans l'EANC par ensoleillement selon les méthodes de calcul normalisées en vigueur à cet effet.

17.2 Bilan thermique de l'EANC (sans gains solaires)

17.2.1 Détermination du terme H_U

Le coefficient de transfert de chaleur (H_U) entre les espaces chauffés (refroidis) du volume protégé et l'environnement extérieur à travers un EANC est généralement déterminé comme suit :

$$H_U = b_u \cdot H_{iu} \quad \text{W/K} \quad (84)$$

où: b_u (-) est un facteur de réduction qui établit le bilan thermique entre les différents transferts de chaleur qui ont lieu (par transmission et par ventilation) entre l'espace chauffé (refroidi), l'EANC et l'environnement extérieur, calculé comme suit:

$$b_u = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad (-) \quad (85)$$

H_{iu} (W/K) coefficient de transfert de chaleur par transmission et par ventilation entre l'espace chauffé (refroidi) et l'EANC, calculé selon le § 17.2.2.

H_{ue} (W/K) coefficient de transfert de chaleur par transmission et par ventilation entre l'EANC et l'environnement extérieur, calculé selon le § 17.2.3.

17.2.2 Détermination du terme H_{iu}

H_{iu} (W/K) est le coefficient de transfert de chaleur directe entre l'espace chauffé (refroidi) et l'EANC (voir Figure 70) et comprend, d'une part, un terme qui tient compte du transfert de chaleur par transmission et, d'autre part, un terme qui reprend le transfert de chaleur par ventilation:

$$H_{iu} = H_{T,iu} + H_{V,iu} \quad \text{W/K} \quad (86)$$

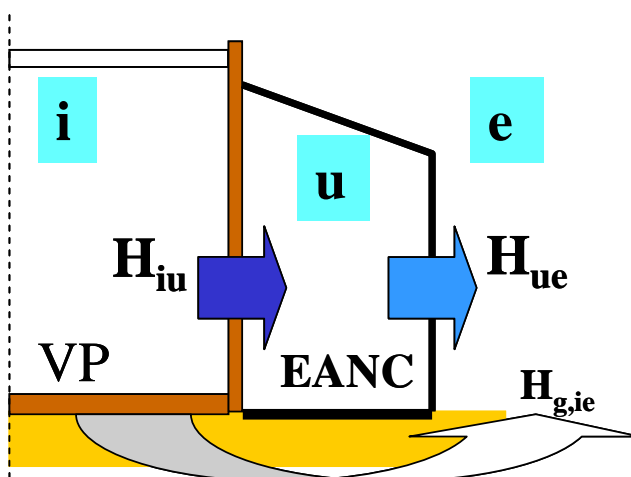


Figure 70 – Bilan thermique dans un EANC

où: $H_{T,iu}$ (W/K) : coefficient de transfert de chaleur par transmission, calculé comme suit:

$$H_{T,iu} = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{k=1}^m l_k \cdot \Psi_k + \sum_{l=1}^r \chi_l \quad \text{W/K} \quad (87)$$

$H_{V,iu}$ (W/K) : coefficient de transfert de chaleur par ventilation, calculé comme suit ;

$$H_{V,iu} = 0,33 \cdot \dot{V}_{iu} \quad \text{W/K} \quad (88)$$

où: \dot{V}_{iu} (m³/h) : le débit d'air par ventilation entre l'espace chauffé (refroidi) et l'EANC; ce débit d'air est égal au débit de conception dans le cas d'une ventilation mécanique; dans le cas d'une ventilation naturelle, on peut déterminer ce débit sur la base d'un taux de ventilation estimé.

17.2.3 Détermination du terme H_{ue}

Le terme H_{ue} (W/K) est le coefficient de transfert de chaleur par transmission et par ventilation entre l'espace adjacent non chauffé et l'environnement extérieur (voir Figure 70), calculé comme suit:

$$H_{ue} = H_{T,ue} + H_{V,ue} \quad \text{W/K} \quad (89)$$

où: $H_{T,ue}$ (W/K) : coefficient de transfert de chaleur par transmission, calculé comme suit:

$$H_{T,ue} = \sum_{e=1}^n U_e \cdot A_e + \sum_{k=1}^m l_k \cdot \Psi_k + \sum_{l=1}^r \chi_l \quad \text{W/K} \quad (90)$$

$H_{V,ue}$ (W/K) : coefficient de transmission de chaleur par ventilation calculé, selon le cas, suivant:

$$H_{V,ue} = 0,33 \cdot n_{ue} \cdot V_u \quad (\text{ventilation naturelle}) \quad \text{W/K} \quad (91)$$

ou $H_{V,ue} = 0,33 \cdot \dot{V}_{ue} \quad (\text{ventilation mécanique}) \quad \text{W/K} \quad (92)$

où: V_u (m³) le volume d'air de l'EANC ;
 n_{ue} (h⁻¹) le taux de ventilation conventionnel de l'EANC, à emprunter pour le cas le plus représentatif au Tableau 22 (voir aussi NOTE) ;
 \dot{V}_{ue} (m³/h) le débit d'air (valeur de conception) de la ventilation mécanique entre l'EANC et l'environnement extérieur.

Type	Description de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure de l'EANC	n_{ue} (h ⁻¹)
1	Pas de portes ni de fenêtres, raccordements entre éléments de construction étanches à l'air, pas d'ouvertures de ventilation	0,1
2	Raccordements entre éléments de construction étanches à l'air, pas d'ouvertures de ventilation	0,5
3	Raccordements entre éléments de construction étanches à l'air, petites ouvertures de ventilation prévues	1
4	Absence d'étanchéité à l'air en raison d'inétanchéités locales ou d'ouvertures de ventilation permanentes	3
5	Absence d'étanchéité à l'air en raison de nombreuses inetanchéités ou de grandes ou nombreuses ouvertures de ventilation	10

Tableau 22 - Taux conventionnel de ventilation entre EANC et environnement extérieur

NOTE Dans le cas où l'on connaît un résultat d'une mesure d'étanchéité à l'air de l'EANC à 50 Pa selon la norme NBN EN 13829 (taux de ventilation n_{50} en h⁻¹ ou l'aire de fuite équivalente A_l en cm²), on peut déterminer n_{ue} de manière simplifiée comme suit :

$$n_{ue} = \frac{n_{50}}{20} \quad \text{h}^{-1} \quad (93)$$

ou $n_{ue} = \frac{A_l}{10 \cdot V_u} \quad \text{h}^{-1} \quad (94)$

17.2.4 Détermination simplifiée des termes H_{iu} et H_{ue}

Si le calcul a pour but d'exprimer la performance thermique d'un bâtiment, NBN EN ISO 13789 prescrit de déterminer les termes H_{iu} (coefficient de transfert de chaleur entre l'environnement intérieur et l'EANC) et H_{ue} (transfert de chaleur entre l'EANC et l'environnement extérieur) selon la méthode simplifiée suivante.

La détermination de H_{iu} tient uniquement compte de la déperdition par transmission (le terme $H_{T,iu}$) en négligeant toute incidence de ponts thermiques éventuels, et ne tient pas compte de la déperdition par ventilation (le terme $H_{V,iu}$). H_{iu} est alors donné par :

$$H_{iu} = H_{T,iu} = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i \quad \text{W/K} \quad (95)$$

Le terme H_{ue} est déterminé de manière simplifiée comme suit :

$$H_{ue} = H_{T,ue} + H_{V,ue} = \sum_{e=1}^n U_e \cdot A_e + \sum_{k=1}^m l_k \cdot \Psi_k + 0,34 \cdot n_{ue} \cdot V_u \quad \text{W/K} \quad (96)$$

où:

- $H_{T,ue}$ (W/K) : la déperdition par transmission entre l'EANC et l'environnement extérieur, en comptant seulement les ponts thermiques linéaires ;
- $H_{V,ue}$ (W/K) : la déperdition par ventilation entre l'EANC et l'environnement extérieur, un taux de ventilation conventionnel (selon le Tableau 22) étant adopté.

L'annexe J présente une méthode pratique pour le calcul de H_U selon les expressions générales (84) et (85), les expressions simplifiées (95) et (96) y sont utilisées en combinaison avec des valeurs b_u précalculées (sous forme de tableau).

NOTE Si une ventilation mécanique volontaire est prévue entre l'EANC et l'environnement extérieur, il convient de prendre en outre en compte le débit de ventilation mécanique pour déterminer H_{ue} , quel que soit le but du calcul.

17.3 Bilan thermique de l'EANC (avec gains solaires)

Cette méthode calcule la température de l'EANC à l'aide d'un bilan thermique qui tient compte du transfert de chaleur par transmission et par ventilation entre l'espace chauffé (refroidi) et l'EANC et entre l'EANC et l'environnement extérieur, mais en tenant également compte des gains solaires.

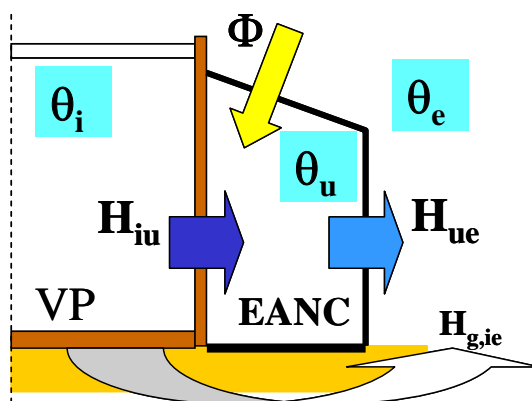


Figure 71 – Détermination de la température dans un EANC

Cette méthode est indiquée pour les EANC qui sont conçus comme des espaces tampons et dans lesquels des gains solaires significatifs peuvent se produire (p. ex. en raison d'importantes surfaces vitrées), que ces gains solaires soient ou non exploités pour les espaces chauffés (refroidis), et quelle que soit la manière dont ils seraient exploités. Cette méthode est valable si les gains solaires constituent un facteur important du résultat final dans la détermination de H_U , par exemple quand on détermine les besoins nets en énergie et/ou les besoins en refroidissement de bâtiments.

Dans ce cas, le coefficient de transmission thermique entre les espaces chauffés (refroidis) et l'environnement extérieur via un EANC est déterminé comme suit:

$$H_U = H_{iu} \cdot b_{u,s} \quad \text{W/K} \quad (97)$$

où: $b_{u,s}$ (-) le facteur de réduction de la température déterminé selon (voir Figure 71):

$$b_{u,s} = \frac{\theta_i - \theta_u}{\theta_i - \theta_e} \quad (-) \quad (98)$$

où: θ_i (°C) la température de l'espace chauffé (refroidi) ;

θ_e (°C) la température de l'environnement extérieur ;

θ_u (°C) la température de l'EANC, déterminée d'après le bilan thermique de cet espace, compte tenu des gains solaires, selon:

$$\theta_u = \frac{\Phi + \theta_i \cdot H_{iu} + \theta_e \cdot H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad ^\circ\text{C} \quad (99)$$

où: Φ (W) les gains thermiques par ensoleillement (par des surfaces vitrées) ;

H_{iu} (W/K) le coefficient de transfert de chaleur par transmission et par ventilation entre l'espace chauffé (refroidi) et l'EANC, calculé selon le § 17.2.2 ;

H_{ue} (W/K) le coefficient de transfert de chaleur par transmission et par ventilation entre l'EANC et l'environnement extérieur, calculé selon le § 17.2.3.

NOTE Si les gains solaires ne sont pas comptés, le terme Φ dans l'expression (99) tombe. Dans ce cas la détermination de H_U suivant l'expression (97) est équivalente à celle suivant l'expression (84).

17.4 EANC situé sous le toit, considéré comme une couche d'air

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 5.4) – Résistance thermique des espaces non chauffés.

Voir NBN EN ISO 6946 (§ 6.1) - Greniers

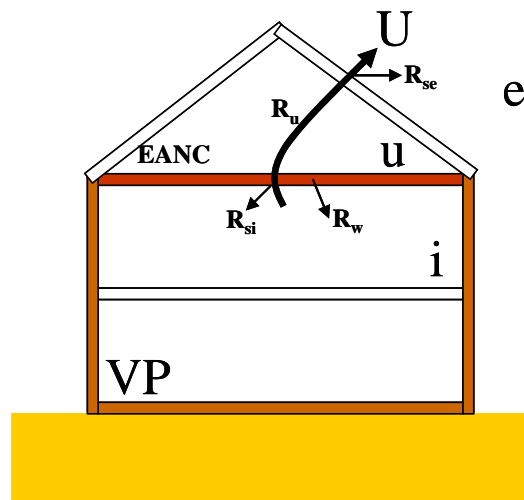


Figure 72 – Résistance thermique d'un grenier traité comme une couche d'air

La transmission thermique entre l'espace chauffé (refroidi) du VP et l'environnement extérieur à travers un EANC situé sous le toit (voir Figure 72) peut être déterminée de manière simplifiée en calculant une valeur U équivalente (U_{iue}) entre l'environnement intérieur et l'environnement extérieur, l'EANC étant considéré comme une couche d'air dont la résistance thermique R_u est ajoutée sous la forme d'un terme supplémentaire à la résistance thermique totale.

Cette méthode de calcul simplifiée peut uniquement s'utiliser aux conditions suivantes:

- si les résultats des calculs n'exigent pas un degré élevé de précision ;
- si les murs de séparation entre l'EANC et l'environnement extérieur ne sont pas isolés ;
- si l'EANC est ventilé naturellement (n'est pas doté d'un système de ventilation mécanique) et est situé au-dessus d'un VP ou d'un bâtiment chauffé.

NBN B 62-002 (2008)

La détermination de H_U tient uniquement compte de la transmission de chaleur (le terme $H_{T,iue}$), en négligeant chaque influence de pont thermique possible. La transmission de chaleur par ventilation n'est pas non plus prise en considération car cet effet est inclus dans la valeur R_u de la couche d'air.

H_U est calculé suivant :

$$H_U = H_{T,iue} = \sum_{j=1}^n U_{iue,j} \cdot A_{w,j} \quad \text{W/K} \quad (100)$$

avec : $A_{w,j}$ (m^2) aire du plancher de l'EANC (dimensions extérieures) ;
 $U_{iue,j}$ ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) valeur U équivalente entre l'espace intérieur chauffé et l'environnement extérieur via l'EANC, donnée par :

$$U_{iue} = \frac{1}{R_{si} + R_w + R_u + R_{se}} \quad \text{m}^2\text{K}/\text{W} \quad (101)$$

où: R_w ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) : résistance thermique du plancher isolé de l'EANC ;
 R_u ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) : résistance thermique de la couche d'air formée par l'EANC, y compris la résistance thermique des parois extérieures non isolées de l'EANC, déterminée selon les valeurs par défaut du Tableau 23.

Caractéristiques du toit non isolé		R_u (*) ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)
1	Toit en tuiles sans étanchéité ni sous-toiture	0,06
2	Toit en tuiles avec étanchéité ou avec sous-toiture	0,20
3	Comme 2, mais avec revêtement en aluminium ou autre surface à faible émissivité sur la face inférieure du toit	0,30
4	Toit équipé de voligeage et d'étanchéité	0,30
(*) Les valeurs R_u indiquées comprennent la résistance thermique de la couche d'air ventilée et la résistance thermique de la structure de toiture. La résistance thermique d'échange (R_{se}) n'est pas comprise.		

Tableau 23 – Résistance thermique R_u des greniers non chauffés

NOTE Les valeurs par défaut du Tableau 23 sont valables pour les greniers ventilés naturellement. Dans le cas d'une ventilation mécanique des greniers, on suivra la procédure de NBN EN ISO 13789 (détermination de H_U – voir 17.2).

18. Coefficient de transfert de chaleur par transmission (H_A) entre les espaces chauffés (refroidis) et des bâtiments avoisinants.

18.1 Détermination de H_A

Voir NBN EN ISO 13789 (§ 7) – Coefficient de transfert de chaleur par transmission

Dans le cas où des espaces chauffés (refroidis) d'un VP d'un bâtiment sont attenants à un bâtiment avoisinant, dont les espaces se trouvent à une température qui diffère de celle du VP du bâtiment considéré, le coefficient de transfert de chaleur (H_A) est déterminé par :

$$H_A = b_{ia} \cdot H_{ia} \quad \text{W/K} \quad (102)$$

où :

- H_{ia} (W/K) : le coefficient de transfert de chaleur par transmission entre l'espace chauffé (refroidi) du VP et le bâtiment avoisinant, déterminé par :

$$H_{ia} = H_{T,ia} = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i \quad \text{W/K} \quad (103)$$

- b_{ia} (-) : facteur de correction, déterminé par : $b_{ia} = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_e}$
 - θ_i (°C) : température de l'espace chauffé (refroidi) ;
 - θ_e (°C) : température de l'environnement extérieur ;
 - θ_a (°C) : température du bâtiment avoisinant.

NOTE 1 Selon le cas, b_{ia} peut être positif ou négatif.

NOTE 2 H_A comprend seulement un terme qui concerne le transfert de chaleur par transmission et qui ne tient pas compte des ponts thermiques. Les parois mitoyennes entre le VP et le bâtiment avoisinant sont considérées comme étant étanches à l'air, de sorte que le transfert de chaleur par ventilation peut être négligé.

18.2 Conventions relatives aux murs mitoyens

Les murs mitoyens sont des murs construits à cheval, le long ou à quelques centimètres de la limite de la parcelle ou de la propriété. Chaque partie d'un mur mitoyen par lequel un VP considéré jouxte l'environnement extérieur fait toujours partie de la surface de déperdition thermique totale A_T du VP considéré. Le transfert de chaleur à travers ces éléments de paroi fait partie du terme H_D (le coefficient de transfert de chaleur par transmission directement vers l'extérieur - voir Figure 73).

Les éléments de bâtiment qui constituent la séparation entre un VP et les espaces chauffés ou non d'un autre VP (autre destination dans le même bâtiment) ne font pas partie de la surface de déperdition calorifique totale A_T du VP considéré. Cette convention s'applique aussi aux murs mitoyens qui forment la séparation avec (des espaces chauffés ou non d') un autre bâtiment existant sur une parcelle attenante (voir Figure 73) parce qu'on n'a aucune certitude quant à la destination et/ou l'emploi de ces espaces de l'autre bâtiment et que l'on ignore s'ils appartiennent ou non au VP ou s'il s'agit d'un EANC.

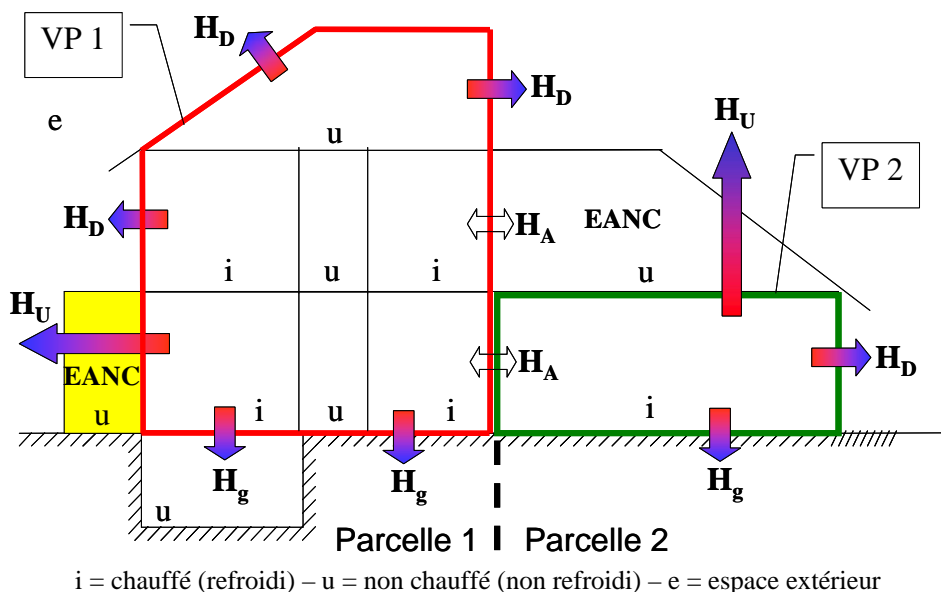


Figure 73 – Espace adjacent non chauffé (EANC) et bâtiments attenants

Cette convention ne s'applique toutefois PAS quand on est le premier à construire avec un mur de séparation (mur d'attente) à cheval ou le long de la limite d'une parcelle non bâtie attenante. En effet, on ne sait pas avec certitude si, quand et sur quelle surface un bâtiment sera érigé contre le mur d'attente. C'est pour cette raison que l'ensemble de la surface de ce mur d'attente appartient à la surface de déperdition calorifique totale A_T du premier bâtiment érigé.

Les conventions et principes susmentionnés sont illustrés à la Figure 73, où les situations montrent comment un espace non chauffé hors d'un VP ne peut être un EANC que dans le bâtiment dont il fait partie et non dans un bâtiment attenant (même s'il y est considéré comme un EANC extérieur au VP de ce bâtiment) :

- Lors de la construction à neuf du premier bâtiment sur l'une des deux parcelles, toute la superficie du mur d'attente construit à cheval ou le long de la limite de la parcelle appartient à la surface de déperdition de ce bâtiment.
- En cas de construction attenante d'un nouveau bâtiment sur la parcelle 2 contre un bâtiment existant sur la parcelle 1 (seul le profil est connu):
 - le mur de séparation ne fait pas partie de la surface de déperdition calorifique du VP2 ;
 - dans la situation connue pour le VP2 proprement dit (plancher du grenier isolé, toiture non isolée et le grenier non chauffé étant un EANC), le plancher du grenier appartient à la surface de déperdition du VP2 ; il faut calculer pour VP2 un terme H_U pour la transmission thermique entre le VP2 et l'environnement extérieur à travers l'EANC (grenier) (voir 17.2).
- En cas de construction attenante d'un nouveau bâtiment sur la parcelle 1 contre un bâtiment existant sur la parcelle 2 (seul le profil est connu):
 - le mur mitoyen sur la limite de la parcelle est en partie un mur extérieur appartenant à la surface de déperdition de VP1 et compris dans le terme H_D (voir 15) et en partie un mur de séparation entre les deux bâtiments qui n'appartient pas, par convention, à la surface de déperdition de VP1 ;
 - le grenier sur la parcelle attenante 2 n'est pas un EANC pour VP1, puisqu'on ne sait pas avec certitude la destination et/ou l'utilisation de cet espace sur cette parcelle attenante: cet espace appartient donc par convention au VP2 attenant.

19. Coefficient de transfert de chaleur par ventilation (H_V) du volume protégé

19.1 Détermination générale de H_V

Voir NBN EN ISO 13789 (§ 5) – Coefficient de transfert de chaleur par ventilation.

Ce chapitre traite du coefficient du transfert de chaleur par ventilation (H_V) du VP pour l'ensemble de tous les espaces situés à l'intérieur du volume protégé des bâtiments.

En règle générale, on détermine H_V comme suit :

$$H_V = \rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V} \quad (\text{W/K}) \quad (104)$$

où: $\rho_a \cdot c_a = 0,33 \text{ Wh/m}^3\text{K}$ (capacité thermique spécifique de l'air) ;

\dot{V} (m^3/h) : le débit de ventilation total du VP à prendre en considération, calculé selon la norme NBN EN 15242 ou, par défaut, selon le § 19.2 ; une distinction est faite entre les espaces à ventilation naturelle et ceux à ventilation mécanique.

NOTE Pour les espaces à affectation distincte dans un bâtiment, des débits de ventilation spécifiques peuvent être imposés sans quoi il faut prendre des précautions pour éviter l'interaction avec le fonctionnement d'appareils (p. ex. les hottes de cuisine, les appareils à combustion à circuit de combustion ouvert). On consultera à ce sujet les normes ou les règles de bonne pratique qui s'appliquent à ces cas.

19.2 Débit de ventilation pour la détermination de H_V pour le VP

19.2.1 Débit minimum de ventilation (\dot{V}_{\min}) à calculer pour le VP

Voir NBN EN ISO 13789 (Annexe C.3) – Débit minimum de ventilation

Lorsqu'un bâtiment est utilisé par des personnes, un débit minimum de ventilation au moyen d'air neuf extérieur est nécessaire afin d'assurer, durant les périodes d'utilisation, une qualité minimale de l'air intérieur, conformément aux exigences imposées en matière de confort et de santé. Ce débit minimum de ventilation dépend du type de bâtiment, du type d'espace intérieur et du mode d'utilisation.

Pour les bâtiments résidentiels, le débit minimum de ventilation \dot{V}_{\min} pour le VP du bâtiment est déterminé suivant :

$$\dot{V}_{\min} = n_{\min} \cdot V_L \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (105)$$

où: V_L (m^3) : volume d'air total du VP (voir NOTE) ;
 n_{\min} (h^{-1}) : taux minimum de ventilation (valeur par défaut : $n_{\min} = 0,3 \text{ h}^{-1}$).

NOTE Pour les calculs de conception, on peut estimer le volume d'air (V_L) d'un bâtiment sur la base du volume protégé connu (V), comme suit :

- pour les bâtiments résidentiels: $V_L = 0,8 \cdot V \quad (\text{m}^3)$
- pour les bâtiments non résidentiels: $V_L = 0,9 \cdot V \quad (\text{m}^3)$

En ce qui concerne les bâtiments non résidentiels à occupation humaine et utilisation normale, le débit minimum de ventilation (par personne présente) et pendant l'occupation du bâtiment, est donné par :

$$\dot{V}_{\min} = 30 \quad (\text{m}^3/\text{h.personne}) \quad (106)$$

19.2.2 Débit total de ventilation à prendre en compte en cas de ventilation naturelle

Voir NBN EN ISO 13789 (Annexe C.4) – Ventilation naturelle

Pour un bâtiment pourvu uniquement d'une ventilation naturelle, c.-à-d. qu'une ventilation non contrôlée s'effectue par les inétanchéités de l'enveloppe du bâtiment et/ou qu'une ventilation contrôlée est assurée par des dispositifs de ventilation naturelle (grilles d'apport d'air, gaines verticales d'évacuation...), le coefficient de transfert de chaleur par ventilation (H_v) se calcule comme suit:

$$H_v = 0,33 \cdot \dot{V} \quad (\text{W/K}) \quad (107)$$

où: \dot{V} (m³/h) : le débit total de ventilation déterminé dans les conditions de conception pour les espaces ventilés naturellement du bâtiment, comme:

$$\dot{V} = \max(\dot{V}_{\min}; \dot{V}_d) \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (108)$$

où: \dot{V}_{\min} (m³/h) : débit minimum de ventilation, déterminé selon le § 19.2.1 ;

\dot{V}_d (m³/h) : débit de conception de ventilation (par infiltration).

Le débit conception de ventilation \dot{V}_d peut se calculer selon les méthodes de calcul de NBN EN 15242, en tenant compte du climat et de la situation, de la protection, du type, de la géométrie et de l'étanchéité à l'air du bâtiment.

A défaut d'informations suffisantes, on peut déterminer de manière simplifiée le débit de conception de ventilation pour la ventilation naturelle des bâtiments résidentiels selon la norme NBN EN ISO 13789, sur la base du volume d'air total (V_L en m³) du VP et d'un taux de ventilation supposé ou calculé :

$$\dot{V}_d = n \cdot V_L \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (109)$$

Le taux de ventilation n (en h⁻¹) peut être déterminé en tenant compte du climat, de l'environnement, du type et de la géométrie du bâtiment ainsi que des dimensions et de la position des ouvertures de ventilation. Si l'on n'a pas d'informations précises, on peut adopter les valeurs par défaut du Tableau 24 (habitations) ou du Tableau 25 (immeubles à appartements).

Classe de protection (Tableau 26)	Classe d'étanchéité à l'air du logement		
	Basse	Moyenne	Haute
Non abrité	1,5	0,8	0,5
Moyennement abrité	1,1	0,6	0,5
Très abrité	0,7	0,5	0,5

Tableau 24 – Taux de ventilation n (en h⁻¹) pour les logements à ventilation naturelle, en fonction de la classe de protection et du degré d'étanchéité à l'air du logement

Classe de protection (Tableau 26)	Plusieurs façades exposées			Une seule façade exposée		
	Classe d'étanchéité à l'air du bâtiment			Classe d'étanchéité à l'air du bâtiment		
	Basse	Moyenne	Haute	Basse	Moyenne	Haute
Non abrité	1,2	0,7	0,5	1,0	0,6	0,5
Moyennement abrité	0,9	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5
Très abrité	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tableau 25 – Taux de ventilation n (en h⁻¹) pour les immeubles à appartements à ventilation naturelle, en fonction de la classe de protection et du degré d'étanchéité à l'air de l'immeuble

Si l'on connaît le taux de ventilation n_{50} (h^{-1}) de bâtiments résidentiels d'après une mesure d'étanchéité à l'air selon la norme NBN EN 13829 (déterminée à une différence de pression de 50 Pa entre l'environnement intérieur et l'environnement extérieur), on peut déterminer le taux de ventilation naturelle (n) de manière simplifiée comme suit :

$$n = n_{50}/20 \quad (h^{-1}) \quad (110)$$

En se basant sur la même mesure, il est aussi possible de déterminer la classe d'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment en fonction de la valeur n_{50} mesurée. Le Tableau 26 donne à cet effet des valeurs indicatives pour les habitations et immeubles à appartements.

Taux de ventilation moyen n_{50} (à 50 Pa) en h^{-1}		Classe d'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment logement
Immeuble à appartements	Habitations	
Moins de 2	Moins de 4	Haute
2 à 5	4 à 10	Moyenne
Plus de 5	Plus de 10	Basse

Tableau 26 – Classes d'étanchéité à l'air en fonction du taux de ventilation n_{50}

NOTE 1 La différence de n_{50} entre immeubles à appartements et habitations est due à la différence de compacité : les habitations ont une superficie de déperdition relativement beaucoup plus grande en comparaison de leur volume.

NOTE 2 En cas de ventilation naturelle, on suppose que l'air de ventilation provient directement de l'environnement extérieur.

19.2.3 Débit de ventilation effectif à prendre en compte en cas de ventilation mécanique

Voir NBN EN ISO 13789 (Annexe C.5) – Systèmes de ventilation mécanique

Lorsque des espaces sont équipés d'un système de ventilation mécanique qui assure l'alimentation et/ou l'évacuation mécaniques volontaires d'air de ventilation, le coefficient de transfert de chaleur par ventilation (H_V) est déterminé comme suit :

$$H_V = 0,33 \cdot \dot{V}_{mech} \quad (W/K) \quad (111)$$

\dot{V}_{mech} (m^3/h) est le débit total de ventilation à prendre en considération que l'on utilise dans les conditions de conception pour les espaces du bâtiment dotés d'une ventilation mécanique.

On distingue à cet égard les débits de ventilation suivants:

- les valeurs de conception du débit total d'alimentation mécanique (\dot{V}_{sup}) et/ou du débit total d'évacuation mécanique (\dot{V}_{ex}), telles que déterminées par le concepteur du système de ventilation ;
- le débit supplémentaire d'infiltration (\dot{V}_x), qui s'infiltré dans l'espace considéré par les inétanchéités de l'enveloppe du bâtiment en cas de fonctionnement du système de ventilation et/ou si l'espace est en dépression (p. ex. en cas de systèmes de ventilation avec uniquement une évacuation mécanique ou en cas de ventilation équilibrée avec un débit d'évacuation prépondérant).
- un débit d'infiltration involontaire (\dot{V}_x') qui pénètre, en cas de non-fonctionnement du système de ventilation, dans l'espace ventilé par les inétanchéités de l'enveloppe du bâtiment à la suite de la pression du vent et du tirage thermique ; ce débit de ventilation est négligeable si l'espace en question est en surpression (p. ex. avec des systèmes de ventilation à alimentation mécanique uniquement ou en cas de ventilation à double flux avec débit d'alimentation prépondérant) ;

En cas de fonctionnement du système de ventilation, le débit total de ventilation mécanique (\dot{V}_{mech}) est donné par l'expression suivante :

$$\dot{V}_{mech} = \dot{V}_f + \dot{V}_x \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (112)$$

où: \dot{V}_f (m³/h) est le débit de ventilation mécanique à retenir, égal selon le cas à:

- = \dot{V}_{sup} (m³/h) débit de conception d'alimentation (si seule l'alimentation est mécanique) ;
- = \dot{V}_{ex} (m³/h) débit de conception d'évacuation (si seule l'évacuation est mécanique) ;
- = max (\dot{V}_{sup} ; \dot{V}_{ex}) en cas de ventilation mécanique à double flux ;

\dot{V}_x (m³/h) est le débit d'infiltration supplémentaire en cas de fonctionnement du système de ventilation, selon:

$$\dot{V}_x = \frac{V_L \cdot n_{50} \cdot e}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left[\frac{\dot{V}_{sup} - \dot{V}_{ex}}{V_L \cdot n_{50}} \right]^2} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (113)$$

- où: V_L (m³) : volume d'air dans l'espace ;
- n_{50} (h⁻¹) : taux de ventilation déterminé par une mesure de l'étanchéité à l'air selon la norme NBN EN 13829 ou par des valeurs par défaut du Tableau 26 ;
- e, f (-) : facteurs de protection en fonction des classes de protection des bâtiments et des divers types d'exposition des façades, donnés au Tableau 27 ;

Classe de protection	Description de la situation du bâtiment	Plusieurs façades exposées		Une seule façade exposée	
		e (-)	f (-)	e (-)	f (-)
Non abrité	Dans des zones découvertes (campagne), bâtiments hauts	0,10	15	0,03	20
Moyenne	Banlieues des villes ou bâtiments abrités à la campagne	0,07			
Très abrité	Zone urbaine	0,04		0,01	

Tableau 27 - Facteurs de protection e et f

En cas de fonctionnement intermittent du système de ventilation (par exemple une ventilation à la demande), le débit effectif total de ventilation mécanique ($\dot{V}_{mech,eff}$) est calculé comme la somme de deux termes :

- un terme qui donne le débit de ventilation mécanique pendant le fonctionnement et qui est calculé suivant l'expression (112) pour la durée de temps relative du fonctionnement (fraction β) ;
- un terme qui ne tient compte, pour la durée d'arrêt restante, que d'un débit de ventilation naturelle et/ou d'un débit d'infiltration dû à la pression du vent et au tirage thermique.

$$\dot{V}_{mech,eff} = [(\dot{V}_f + \dot{V}_x) \cdot \beta] + [(\dot{V}_0 + \dot{V}_x') \cdot (1 - \beta)] \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (114)$$

où: β (-) fraction de temps pendant laquelle le système de ventilation mécanique fonctionne ;
 \dot{V}_0 (m³/h) débit d'air dû à la ventilation naturelle (sous l'effet de la pression du vent et du tirage thermique), calculé selon la norme NBN EN 15242;

\dot{V}_x' (m³/h) débit d'infiltration (naturelle) supplémentaire en cas d'arrêt du système de ventilation:

$$\dot{V}_x' = V_L \cdot n_{50} \cdot e \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (115)$$

En présence de systèmes de ventilation mécanique à débit d'air variable, on peut adopter, pour la fraction de temps β (pendant le fonctionnement), une moyenne des débits d'air amenés et/ou évacués.

NOTE Lorsque le système de ventilation est hors service, l'expression (114) se limite au débit d'infiltration:

$$\dot{V}_{mech,eff} = \dot{V}_0 + \dot{V}'_x \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (116)$$

19.2.4 Débit de ventilation équivalent à prendre en compte en cas de ventilation mécanique

Voir NBN EN ISO 13789 (Annexe C.6) – Systèmes de ventilation mécanique avec récupération de chaleur

En cas de ventilation mécanique, l'air d'alimentation (\dot{V}_{sup}) n'est pas nécessairement toujours de l'air extérieur amené directement vers le VP, mais est éventuellement de l'air extérieur préchauffé par aspiration à travers un EANC avec gains solaires ou préchauffé par un système qui récupère la chaleur de l'air repris.

Le préchauffage ou la récupération de chaleur de l'air aspiré sont pris en compte en appliquant au débit d'alimentation (air neuf) un facteur de réduction proportionnel au rendement du préchauffage ou de la récupération de chaleur. Ce rendement est toujours inférieur à celui de l'échangeur de chaleur utilisé proprement dit. Il faut en effet tenir compte, à cet égard, de l'écart entre les débits d'alimentation et d'évacuation, du débit de fuite non préchauffé dans les gaines de ventilation, des débits d'infiltration à travers les inétanchéités de l'enveloppe du bâtiment, du recyclage d'une partie de l'air aspiré et du dégivrage de l'échangeur de chaleur.

En ce qui concerne les bâtiments avec récupération de chaleur sur les débits d'air aspiré, on peut prendre la récupération de chaleur en compte en réduisant la part du débit de ventilation mécanique à prendre en considération (\dot{V}_f) d'un facteur $(1 - \eta_v)$. L'expression (112) se réduit alors à:

$$\dot{V}_{mech,eq} = \dot{V}_f (1 - \eta_v) + \dot{V}'_x \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (117)$$

où: $\eta_v (-)$: le rendement global de la récupération de chaleur ou du préchauffage, compte tenu de l'écart entre les débits insufflés et aspirés, des pertes de chaleur des canalisations en dehors du VP, de l'infiltration et les fuites dans l'enveloppe du bâtiment, de l'air de recyclage et le dégel de l'échangeur.

ANNEXE A

Tableaux de valeurs de calcul pour la conductivité thermique (valeur λ) des matériaux de construction

A1. Généralités

On utilise, comme valeur de calcul de la conductivité thermique d'un matériau de construction, une valeur qui tient compte à la fois de la température et de la teneur en humidité prévisibles dans ce matériau. C'est également valable pour les parois extérieures pourvues d'un système d'enduit extérieur, dont l'aptitude à l'emploi concernant la couche de base, l'adhésivité, la durabilité et l'imperméabilité, sont garanties par le fabricant du système d'enduit.

On définit ainsi, en fonction des conditions intérieures ou extérieures, les valeurs de calcul suivantes:

- La valeur λ_{Ui} correspond aux conditions intérieures et doit être utilisée pour les matériaux dans des parois intérieures et extérieures, pour autant que ces matériaux ne puissent être humidifiés ni par la pénétration d'eau de pluie, ni par une condensation interne ou superficielle permanente, ni par l'humidité ascensionnelle. La valeur λ_{Ui} ne peut être utilisée pour les matériaux incorporés de manière étanche à la vapeur d'eau et susceptibles de contenir de l'humidité (p. ex. eau de construction ou eau pluviale).
- La valeur λ_{Ue} correspond aux conditions extérieures et doit être utilisée pour tous les matériaux dans des parois extérieures qui peuvent être humidifiés par la pluie, par la condensation interne ou superficielle permanente ou par l'humidité ascensionnelle. La valeur λ_{Ue} doit également s'utiliser pour les matériaux incorporés de manière étanche à la vapeur d'eau alors qu'ils sont mouillés au moment de la mise en œuvre.

Pour les produits d'isolation et les produits dont la valeur λ est une caractéristique importante, on détermine les valeurs de calcul λ_{Ui} et λ_{Ue} sur la base de la valeur λ_D déclarée du produit spécifique, convertie pour tenir compte des conditions d'humidité dans lesquelles le matériau et/ou le produit est utilisé. Les principes et les conditions, suivant lesquels la valeur déclarée λ_D est déterminée et convertie en valeur de calcul tel que mentionné ci-dessus, sont décrits en 5.3.2. Pour les matériaux de construction qui ne disposent pas d'une valeur λ_D déclarée, les valeurs de calcul se trouvant dans les tableaux de cette annexe A doivent être utilisées.

A.2 Tableaux de conductivités thermiques, masse volumique et chaleur massique de matériaux de construction homogènes ou assimilés

Métaux

Tableau A.1 – Métaux			
Matériau	$\lambda_{Ui} = \lambda_{Ue}$ W/(m.K)	Masse volumique ρ (kg/m³)	Chaleur massique c J/(kg.K)
Plomb	35	11 300	130
Cuivre	380	8 900	380
Cuivre jaune (laiton)	120	8 400	380
Acier	50	7 800	450
Acier inoxydable	17	7 900	460
Aluminium 99%	160	2 800	880
Fonte	50	7 500	450
Zinc	110	7 200	380
Bronze	65	8 700	380

Pierre naturelle

Tableau A.2 – Pierre naturelle		
<i>La chaleur massique c est de 1 000 J/(kg.K)</i>		
Matériau	$\lambda_{U_i} = \lambda_{U_e}$ W/(m.K)	Masse volumique ρ (kg/m³)
Pierre de roche naturelle	3.50	2 800 (cristalline)
	2.30	2 600 (sédimentaire, lourde)
	0.85	1 500 (sédimentaire, légère)
	0.55	1 600 (poreuse, lave)
Pierre lourde (basalte, gneiss)	3.50	2 400 – 3 000
Marbres	3.50	2 800
Ardoise	2.20	2 000 – 2 800
Pierre calcaire	2.30	2 600 (très dure)
	1.70	2 200 (ferme)
	1.40	2 000 (demi-ferme)
	1.10	1 800 (tendre)
	0.85	1 600 (très tendre)
Pierre silico-calcaire	2.30	2 600
Pierre demi-ferme (e.a. moellon)	1.40	2 200

Maçonnerie collée

Les éléments de construction pierreux mentionnés dans cette partie sont mis en œuvre à l'aide de joints collés dont l'épaisseur ≤ 3 mm.

Pour les maçonneries en éléments pleins à joints collés (épaisseur inférieure ou égale à 3 mm) et sans armature (pour les autres conditions : voir NOTES 1, 2 et 3), les valeurs λ_U des tableaux A.3 à A.8 sont tirées de NBN EN 1745 pour le niveau de confiance 90/90 (voir 5.3.2) et recalculées avec la correction de conversion nécessaire pour les conditions d'utilisation intérieures et extérieures.

NOTE 1 :

En ce qui concerne les couches de construction (blocs de construction avec joints de mortier), il faut tenir compte de l'incidence de la conductivité thermique du mortier, laquelle n'est pas négligeable, surtout si l'on utilise des blocs légers. Pour de telles couches de construction maçonnées, il faut calculer une valeur λ_U (ou valeur R_U) moyenne pondérée par la surface, qui sert en outre à déterminer la limite inférieure de la résistance thermique totale de l'élément de construction. Cette méthode de calcul ainsi que d'autres conventions relatives à la maçonnerie sont expliquées en 6.2.4.

NOTE 2 :

*Pour la maçonnerie construite en **éléments perforés**, les valeurs λ_U des éléments de construction perforés sont empruntées aux valeurs tabulées relatives aux blocs (ou briques) pleins et en se basant sur la masse volumique des blocs (ou briques) perforés. Dans 6.2.4 est donné un exemple de calcul de la détermination de la valeur λ_U d'un bloc de construction perforé.*

NOTE 3 :

*On peut négliger l'incidence des **armatures de joint** habituelles par rapport aux valeurs λ_U .*

Tableau A.3 - Maçonnerie composée de briques en terre cuite collées				
<i>La chaleur massique c est de 1 000 J/(kg.K)</i>				
Masse volumique des briques	Matériaux dont on connaît la nature et dont la spécification de produit est démontrable :		Matériaux dont on connaît la nature mais dont on ne peut pas démontrer la spécification de produit	
	<ul style="list-style-type: none"> • où $(f_{\psi}) = 10 \text{ m}^3/\text{m}^3$, $\psi_1 = 0$ et $\psi_{2i} = 0,007 \text{ m}^3/\text{m}^3$ pour l'intérieur ; • où $\psi_{2e} = 0,075 \text{ m}^3/\text{m}^3$ pour l'extérieur 			
ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
$\rho \leq 700$	0.20	0.39	0.22	0.43
$700 < \rho \leq 800$	0.23	0.45	0.25	0.49
$800 < \rho \leq 900$	0.26	0.51	0.28	0.56
$900 < \rho \leq 1\ 000$	0.29	0.57	0.32	0.63
$1\ 000 < \rho \leq 1\ 100$	0.32	0.64	0.35	0.70
$1\ 100 < \rho \leq 1\ 200$	0.35	0.70	0.39	0.77
$1\ 200 < \rho \leq 1\ 300$	0.39	0.76	0.42	0.84
$1\ 300 < \rho \leq 1\ 400$	0.43	0.85	0.47	0.93
$1\ 400 < \rho \leq 1\ 500$	0.46	0.91	0.51	1.00
$1\ 500 < \rho \leq 1\ 600$	0.50	0.99	0.55	1.09
$1\ 600 < \rho \leq 1\ 700$	0.55	1.08	0.60	1.19
$1\ 700 < \rho \leq 1\ 800$	0.59	1.16	0.65	1.28
$1\ 800 < \rho \leq 1\ 900$	0.64	1.27	0.71	1.40
$1\ 900 < \rho \leq 2\ 000$	0.69	1.35	0.76	1.49
$2\ 000 < \rho \leq 2\ 100$	0.74	1.46	0.81	1.61

Tableau A.4 - Maçonnerie composée de briques silico-calcaire collées				
<i>La chaleur massique c est de 1 000 J/(kg.K)</i>				
Masse volumique briques silico-calcaire	Matériaux dont on connaît la nature et dont la spécification de produit est démontrable :		Matériaux dont on connaît la nature mais dont on ne peut pas démontrer la spécification de produit	
	<ul style="list-style-type: none"> • où $(f_{\psi}) = 10 \text{ m}^3/\text{m}^3$, $\psi_1 = 0$ et $\psi_{2i} = 0,012 \text{ m}^3/\text{m}^3$ pour l'intérieur ; • où $\psi_{2e} = 0,090 \text{ m}^3/\text{m}^3$ pour l'extérieur 			
ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
$\rho \leq 900$	0.33	0.71	0.36	0.78
$900 < \rho \leq 1\ 000$	0.34	0.74	0.37	0.81
$1\ 000 < \rho \leq 1\ 100$	0.36	0.79	0.40	0.87
$1\ 100 < \rho \leq 1\ 200$	0.41	0.89	0.45	0.97
$1\ 200 < \rho \leq 1\ 300$	0.46	1.01	0.51	1.11
$1\ 300 < \rho \leq 1\ 400$	0.52	1.13	0.57	1.24
$1\ 400 < \rho \leq 1\ 500$	0.60	1.30	0.66	1.43
$1\ 500 < \rho \leq 1\ 600$	0.69	1.50	0.76	1.65
$1\ 600 < \rho \leq 1\ 700$	0.79	1.72	0.87	1.89
$1\ 700 < \rho \leq 1\ 800$	0.91	1.99	1.00	2.19
$1\ 800 < \rho \leq 1\ 900$	1.04	2.26	1.14	2.49
$1\ 900 < \rho \leq 2\ 000$	1.18	2.58	1.30	2.84
$2\ 000 < \rho \leq 2\ 100$	1.35	2.95	1.49	3.25
$2\ 100 < \rho \leq 2\ 200$	1.54	3.37	1.70	3.71

Tableau A.5 – Maçonnerie composée de blocs de béton collés, avec granulats ordinaires				
<i>La chaleur massique c est de 1 000 J/(kg.K)</i>				
Masse volumique blocs de béton	Matériaux dont on connaît la nature et dont la spécification de produit est démontrable :		Matériaux dont on connaît la nature mais dont on ne peut pas démontrer la spécification de produit	
	<ul style="list-style-type: none"> où $(f_{\psi}) = 4 \text{ m}^3/\text{m}^3$, $\psi_1 = 0$ et $\psi_{2i} = 0,025 \text{ m}^3/\text{m}^3$ pour l'intérieur ; où $\psi_{2e} = 0,090 \text{ m}^3/\text{m}^3$ pour l'extérieur 			
ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
$\rho \leq 1\ 600$	0.97	1.26	1.07	1.39
$1\ 600 < \rho \leq 1\ 700$	1.03	1.33	1.13	1.47
$1\ 700 < \rho \leq 1\ 800$	1.12	1.45	1.23	1.59
$1\ 800 < \rho \leq 1\ 900$	1.20	1.56	1.33	1.72
$1\ 900 < \rho \leq 2\ 000$	1.32	1.71	1.45	1.88
$2\ 000 < \rho \leq 2\ 100$	1.44	1.86	1.58	2.05
$2\ 100 < \rho \leq 2\ 200$	1.57	2.04	1.73	2.24
$2\ 200 < \rho \leq 2\ 300$	1.72	2.24	1.90	2.46
$2\ 300 < \rho \leq 2\ 400$	1.90	2.47	2.09	2.71

Tableau A.6 - Maçonnerie composée de briques de béton d'argile expansée collées				
<i>La chaleur massique c est de 1 000 J/(kg.K)</i>				
Masse volumique briques de béton d'argile expansée	Matériaux dont on connaît la nature et dont la spécification de produit est démontrable :		Matériaux dont on connaît la nature mais dont on ne peut pas démontrer la spécification de produit	
	<ul style="list-style-type: none"> où $(f_u) = 4 \text{ kg/kg}$, $u_1 = 0$ et $u_{2i} = 0,020 \text{ kg/kg}$ pour l'intérieur ; où $u_{2e} = 0,090 \text{ kg/kg}$ pour l'extérieur 			
ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
$\rho \leq 400$	0.13	(1)	0.14	(1)
$400 < \rho \leq 500$	0.16	(1)	0.18	(1)
$500 < \rho \leq 600$	0.19	0.26	0.21	0.28
$600 < \rho \leq 700$	0.23	0.30	0.25	0.33
$700 < \rho \leq 800$	0.27	0.36	0.30	0.39
$800 < \rho \leq 900$	0.30	0.40	0.33	0.44
$900 < \rho \leq 1\ 000$	0.35	0.46	0.38	0.50
$1\ 000 < \rho \leq 1\ 100$	0.39	0.52	0.43	0.57
$1\ 100 < \rho \leq 1\ 200$	0.44	0.59	0.49	0.65
$1\ 200 < \rho \leq 1\ 300$	0.50	0.66	0.55	0.73
$1\ 300 < \rho \leq 1\ 400$	0.55	0.73	0.61	0.80
$1\ 400 < \rho \leq 1\ 500$	0.61	0.80	0.67	0.88
$1\ 500 < \rho \leq 1\ 600$	0.68	0.90	0.75	0.99
$1\ 600 < \rho \leq 1\ 700$	0.76	1.00	0.83	1.10

(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est pas recommandée, sauf si un agrément technique a été délivré pour une application adéquate pour laquelle la valeur de calcul à utiliser est mentionnée

Tableau A.7 - Maçonnerie composée de blocs de béton collés, avec autres granulats légers <i>La chaleur massique c est de 1 000 J/(kg.K)</i>				
Masse volumique blocs de béton avec granulats légers ρ (kg/m³)	Matériaux dont on connaît la nature et dont la spécification de produit est démontrable : <ul style="list-style-type: none"> • où (f_{ψ}) = 4 m³/m³, $\psi_1 = 0$ et $\psi_{2i} = 0,030$ m³/m³ pour l'intérieur ; • où $\psi_{2e} = 0,090$ m³/m³ pour l'extérieur 		Matériaux dont on connaît la nature mais dont on ne peut pas démontrer la spécification de produit	
	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
$\rho \leq 500$	0.27	(1)	0.30	(1)
$500 < \rho \leq 600$	0.30	0.39	0.33	0.43
$600 < \rho \leq 700$	0.34	0.43	0.37	0.47
$700 < \rho \leq 800$	0.37	0.47	0.41	0.52
$800 < \rho \leq 900$	0.42	0.53	0.46	0.58
$900 < \rho \leq 1\ 000$	0.46	0.59	0.51	0.65
$1\ 000 < \rho \leq 1\ 100$	0.52	0.66	0.57	0.73
$1\ 100 < \rho \leq 1\ 200$	0.59	0.75	0.64	0.82
$1\ 200 < \rho \leq 1\ 300$	0.65	0.83	0.72	0.91
$1\ 300 < \rho \leq 1\ 400$	0.74	0.95	0.82	1.04
$1\ 400 < \rho \leq 1\ 500$	0.83	1.06	0.92	1.17
$1\ 500 < \rho \leq 1\ 600$	0.94	1.19	1.03	1.31
$1\ 600 < \rho \leq 1\ 800$	1.22	1.55	1.34	1.70
(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est pas recommandée, sauf si un agrément technique a été délivré pour une application adéquate pour laquelle la valeur de calcul à utiliser est mentionnée				

Tableau A.8 - Maçonnerie composée de blocs de béton cellulaire autoclave, collés <i>La chaleur massique c est de 1 000 J/(kg.K)</i>				
Masse volumique blocs de béton cellulaire ρ (kg/m³)	Matériaux dont on connaît la nature et dont la spécification de produit est démontrable : <ul style="list-style-type: none"> • où (f_u) = 4 kg/kg, $u_1 = 0$ et $u_{2i} = 0,026$ kg/kg pour l'intérieur ; • où $u_{2e} = 0,150$ kg/kg pour l'extérieur 		Matériaux dont on connaît la nature mais dont on ne peut pas démontrer la spécification de produit	
	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
$\rho \leq 300$	0.09	(1)	0.10	(1)
$300 < \rho \leq 400$	0.12	(1)	0.13	(1)
$400 < \rho \leq 500$	0.14	(1)	0.16	(1)
$500 < \rho \leq 600$	0.18	0.29	0.20	0.32
$600 < \rho \leq 700$	0.20	0.33	0.22	0.36
$700 < \rho \leq 800$	0.23	0.38	0.26	0.42
$800 < \rho \leq 900$	0.27	0.44	0.29	0.48
$900 < \rho \leq 1\ 000$	0.29	0.47	0.32	0.52
(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est pas recommandée, sauf si un agrément technique a été délivré pour une application adéquate pour laquelle la valeur de calcul à utiliser est mentionnée				

Eléments de construction pierreux sans joints (parois pleines, planchers, ...)

Tableau A.9 - Béton lourd normal			
<i>La chaleur massique c est de 1 000 J/(kg.K)</i>			
Béton lourd normal	Masse volumique ρ (kg/m³)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
Béton non armé	$\rho \leq 1\ 800$	1.15	(1)
	$1\ 800 < \rho \leq 2\ 000$	1.35	
	$2\ 000 < \rho \leq 2\ 200$	1.65	
	$2\ 200 < \rho \leq 2\ 400$	2.00	2.20
Béton armé	$\rho \leq 2\ 300$ (avec 1% acier)	2.30	2.50
	$2\ 300 < \rho \leq 2\ 400$ (avec 2% acier)	2.50	2.70
(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est pas recommandée, sauf si un agrément technique a été délivré pour une application adéquate pour laquelle la valeur de calcul à utiliser est mentionnée			

Tableau A.10 - Béton léger en dalles ou panneaux pleins ou en chape (béton d'argile expansée, béton cellulaire, béton de laitier, de vermiculite, de liège, de perlite, de polystyrène, etc.)			
<i>La chaleur massique c est de 1 000 J/(kg.K).</i>			
Béton léger	Masse volumique ρ (kg/m³)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
Dalles pleines (2) ou chapes de béton d'argile expansée, béton cellulaire, béton de laitier, de vermiculite, de liège, de perlite, de polystyrène, etc.	$\rho < 350$	0.12	(1)
	$350 \leq \rho < 400$	0.14	(1)
	$400 \leq \rho < 450$	0.15	(1)
	$450 \leq \rho < 500$	0.16	(1)
	$500 \leq \rho < 550$	0.17	(1)
	$550 \leq \rho < 600$	0.18	(1)
	$600 \leq \rho < 650$	0.20	0.31
	$650 \leq \rho < 699$	0.21	0.34
	$700 \leq \rho < 700$	0.22	0.36
	$750 \leq \rho < 800$	0.23	0.38
	$800 \leq \rho < 850$	0.24	0.40
	$850 \leq \rho < 900$	0.25	0.43
	$900 \leq \rho < 950$	0.27	0.45
	$950 \leq \rho < 1\ 000$	0.29	0.47
	$1\ 000 \leq \rho < 1\ 100$	0.32	0.52
	$1\ 100 \leq \rho < 1\ 200$	0.37	0.58
	$1\ 200 \leq \rho < 1\ 500$	0.60	0.90
	$1\ 500 \leq \rho < 1\ 600$	0.85	1.20
$1\ 600 \leq \rho$	1.30	1.70	
(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est pas recommandée, sauf si un agrément technique a été délivré pour une application adéquate pour laquelle la valeur de calcul à utiliser est mentionnée.			
(2) Dans les cas où les dalles ou les panneaux sont pourvus d'une armature parallèle au sens du flux thermique (p. ex. colliers, treillis d'armature), la déperdition thermique sera prise en compte dans la détermination de la valeur U du plancher, de la toiture ou de la paroi, en étant calculée suivant NBN EN 10211.			

Plâtre, enduits et mortiers

Tableau A.11 - Plâtre avec ou sans granulats légers
La chaleur massique c est de 1 000 J/(kg.K)

Plâtre	Masse volumique ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
Plâtre avec ou sans granulats légers	$\rho \leq 600$	0.18	(1)
	$600 < \rho \leq 900$	0.30	
	$900 < \rho \leq 1\ 200$	0.43	
	$1\ 200 < \rho \leq 1\ 500$	0.56	
Plaques de plâtre entre deux cartons	$\rho \leq 700$	0.21	(1)
	$700 < \rho \leq 900$	0.25	

(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est pas recommandée, sauf si un agrément technique a été délivré pour une application adéquate pour laquelle la valeur de calcul à utiliser est mentionnée

Tableau A.12 – Mortiers et enduits
La chaleur massique c est de 1 000 J/(kg.K)

Mortiers et enduits	Masse volumique ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
Mortier de ciment	$\rho \leq 1\ 800$	1.00	1.55
Mortier de chaux	$1\ 800 < \rho \leq 1\ 600$	0.80	1.24
Enduit de plâtre	$\rho \leq 600$	0.18	(1)
	$600 < \rho \leq 1\ 000$	0.40	
	$1\ 000 < \rho \leq 1\ 300$	0.57	

(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est pas recommandée, sauf si un agrément technique a été délivré pour une application adéquate pour laquelle la valeur de calcul à utiliser est mentionnée

Bois et dérivés de bois

Pour les **matériaux ligneux** (tableau A.13), les valeurs λ_U sont tirées de NBN EN ISO 10456 et calculées avec les facteurs de conversion et de correction nécessaires pour les conditions d'utilisation intérieures et extérieures.

Tableau A.13 – Bois et dérivés de bois

Matériau	Masse volumique ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)	c J/(kg.K)
Bois de charpente en bois feuillus durs et bois résineux	$\rho \leq 500$	0.13	0.15	1 600
	$500 < \rho \leq 700$	0.18	0.20	
Panneau de contreplaqué	$\rho \leq 300$	0.09	0.11	1 600
	$300 < \rho \leq 500$	0.13	0.15	
	$500 < \rho \leq 700$	0.17	0.20	
	$700 < \rho \leq 1\ 000$	0.24	0.28	
Panneau de particules ou d'aggloméré	$\rho \leq 300$	0.10	(1)	1 700
	$300 < \rho \leq 600$	0.14		
	$600 < \rho \leq 900$	0.18		
Panneau de fibres liées au ciment	$\rho \leq 1\ 200$	0.23	(1)	1 500
Panneau d'OSB (oriented strand board)	$\rho \leq 650$	0.13	(1)	1 700
Panneau de fibres de bois (y compris MDF)	$\rho \leq 250$	0.07	(1)	1 700
	$250 < \rho \leq 400$	0.10		
	$400 < \rho \leq 600$	0.14		
	$600 < \rho \leq 800$	0.18		

(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est pas recommandée, sauf si un agrément technique a été délivré pour une application adéquate pour laquelle la valeur de calcul à utiliser est mentionnée

Matériaux d'isolation thermique

Tableau A.14a – Matériaux d'isolation fabriqués en usine

Matériaux d'isolation (fabriqués en usine)	Chaleur mas- sique c J/(kg.K)	Matériaux d'isolation dont on connaît la nature et dont on peut démontrer la spécification de produit (1)		Matériaux d'isolation dont on connaît la nature mais dont on ne peut pas démontrer la spécification de produit	
		λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
Laine minérale (panneaux, matelas) (MW)	1 030	0.031-0.044	(2)	0.050	(2)
Polystyrène expansé (plaques) (EPS)	1 450	0.031-0.045		0.050	
Polyéthylène extrudé (plaques) (PEF)	1 450	0.035-0.045		0.050	
Polystyrène extrudé (plaques) (XPS) (3)	1 450	0.028-0.038		0.045	
Polyuréthane (plaques revêtues) (PUR/PIR)	1 400	0.023-0.029		0.035	
Mousse phénolique (plaques) (PF) (4)	1 400	0.022-0.038		0.045	
Verre cellulaire (plaques) (CG)	1 000	0.038-0.050		0.055	
Perlite expansée (plaques) (EPB)	900	0.052-0.055		0.060	
Liège (panneaux) (ICB)	1 560	-		0.050	
Vermiculite expansée (panneaux)	900	-		0.090	
Cellulose (panneaux) ($50 \leq \rho < 150 \text{ kg/m}^3$)	1 100	0.035-0.055		0.060	
Panneaux d'isolation à base de fibres végétales et/ou animales (chanvre, lin, paille, plumes, laine, duvet...) ($50 \leq \rho < 150 \text{ kg/m}^3$)	1 100	-		0.060	

(1) Les valeurs mentionnées dans cette colonne sont les valeurs les plus basses et les plus hautes connues dans la famille des spécifications techniques européennes (EOTA) ou des déclarations volontaires de qualité de l'UBA_{tc} (ATG) ou du certificat CEN Key-mark, quels que soient l'application et les autres facteurs susceptibles d'influencer ces valeurs. L'auteur de projet, qui connaît l'application du matériau, doit utiliser la valeur correspondante dans son cahier des charges.

(2) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est pas recommandée, sauf si un agrément technique a été délivré pour une application adéquate pour laquelle la valeur de calcul à utiliser est mentionnée.

(3) En cas d'application de plaques d'isolation en XPS dans des toitures inversées, la résistance thermique de la couche d'isolation en XPS doit être corrigée suivant les règles de 7.4.5.

(4) Uniquement d'application sur la mousse phénolique à cellules fermées.

NOTE Pour les applications intérieures, les valeurs λ_D , tel que déterminé pour les matériaux d'isolation dont on peut démontrer la spécification de produit et dont on connaît la nature, la marque et le type ; peuvent également être employées comme valeurs λ_{Uj} .

Tableau A.14b – Matériaux d'isolation non fabriqués en usine et mis en œuvre in situ (1)			
Matériaux d'isolation (mis en œuvre in situ)	Chaleur massique	Matériaux d'isolation dont on connaît la nature mais dont on ne peut pas démontrer la spécification de produit	
	c J/(kg.K)	λ_{Ui} (3) W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
Laine minérale (soufflée) (MW)	1 030	0.070	(2)
Polystyrène expansé (moulé, lié) (EPS)	1 450	0.070	
Mousse phénolique (injectée) (PF) (4)	1 400	0.065	
Polyuréthane (injecté) (PUR/PIR) (5)	1 400	0.055	
Mousse urée-formaldéhyde (UF)	1 400	0.075	
Granulés de perlite expansée (moulés) (EPB)	-	0.080	
Cellulose (soufflée)	1 100	0.100	
Granulés de vermiculite expansée	1 080	0.130	
Granulés d'argile expansée	1000	0.150	
Autres matériaux pour couches d'isolation non fabriqués en usine, à base de fibres végétales et/ou animales (chanvre, lin, paille, plumes, laine, duvet...)	1 100	0.100	

(1) Pour ces matériaux, on sera attentif à poser minutieusement la couche d'isolation.

(2) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est pas recommandée, sauf si un agrément technique a été délivré pour une application adéquate pour laquelle la valeur de calcul à utiliser est mentionnée.

(3) Pour déterminer les valeurs λ_{Ui} des couches d'isolation fabriquées in situ sans spécification de produit, les valeurs λ_{Ui} des matériaux d'isolation fabriqués en usine correspondants (sans spécification de produit) sont augmentées de 0.02 W/(mK) (si le matériau figurant au tableau A.14-a dispose de spécifications de produit) ou de 0.04 W/(mK) (si le matériau figurant au tableau A.14-a ne dispose pas de spécifications de produit). Pour déterminer les valeurs λ_{Ui} des couches d'isolation fabriquées in situ dont on peut démontrer la spécification de produit, l'auteur du projet, qui connaît l'application du matériau, peut utiliser la valeur λ_{Ui} correspondante.

(4) D'application sur la mousse phénolique contenant plus de 10% de cellules ouvertes.

(5) Pour les matériaux d'isolation en PUR injecté ou projeté in situ, il faut corriger la résistance thermique de la couche d'isolation en PUR selon les règles de 5.3.3.1.

Matériaux divers

Tableau A.15 – Matériaux divers				
Matériau	Masse volumique ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)	c J/(kg.K)
Verre	2 500	1.00	1.00	750
Carreaux de terre cuite	1 700	0.81	1.00	1 000
Carreaux de grès	2 000	1.20	1.30	1 000
Caoutchouc	1 200	0.17	-	1 400
Carreaux en PVC (plastique)	1 700	0.25	-	1 400
Linoléum	1 200	0.17	-	1 400
Tapis (textile)	200	0.06	-	1 300
Panneaux en ciment renforcé de fibres minérales naturelles	$1\,400 \leq \rho \leq 1\,900$	0.35	0.50	1 000
Panneaux en ciment de laine de bois, panneaux en magnésite de laine de bois	$300 \leq \rho < 900$	0.20	-	1 500
Panneaux à base de fibres végétales et/ou animales (chanvre, lin, paille, plumes, laine, duvet...)	$150 \leq \rho < 500$	0.20	-	1 500
Asphalte coulé	2 100	0.70	0.70	1 000
Membrane bitumineuse	1 100	0.23	0.23	1 000

(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est pas recommandée, sauf si un agrément technique a été délivré pour une application adéquate pour laquelle la valeur de calcul à utiliser est mentionnée.

Matériaux utilisés dans les composants de fenêtres
(selon la norme NBN EN ISO 10077-2 – Annexe A)

Tableau A.16 – Matériaux utilisés dans la fabrication de profilés d'encadrement et de fenêtres				
Groupe de matériaux	Matériau	Masse volumique ρ (kg/m³)	λ_U (W/mK)	c J/(kg.K)
Profilés d'encadrement	Polychlorure de vinyle (PVC)	1 390	0,17	900
	Fibre de verre (résine UP)	1 900	0,40	-
Plastique (vitrage)	Méthacrylate de polyméthyle (PMMA)	1 180	0,18	1 500
	Polycarbonate	1 200	0,20	1 200
Coupure thermique	Polyamide (nylon)	1 150	0,25	1 600
	Polyamide 6.6 avec 25% de fibre de verre	1 450	0,30	1 600
	Polyéthylène, HD	980	0,50	1 800
	Polyéthylène, LD	920	0,33	2 200
	Polystyrène	1 050	0,16	1 300
	Polypropylène, solide	910	0,22	1 800
	Polypropylène avec 25% de fibre de verre	1 200	0,25	1 800
	Polyuréthane (PUR), dur	1 300	0,21	1 800
	Polychlorure de vinyle (PVC), dur	1 200	0,14	1 000
Bourrelets d'isolation	Néoprène, polychloroprène (PCP)	1 240	0,23	2 140
	Ethylène-propylène (EPDM)	1 150	0,25	1 000
	Polychlorure de vinyle (PVC), souple	1 200	0,14	1 000
	Mohair (polyester)	± 1 000	0,14	1 200
	Mousse de caoutchouc	60 – 80	0,06	1 500
Mastics et matériaux d'isolation	Mousse de polyéthylène	70	0,05	2 300
	Mousse de polyuréthane	70	0,05	1 500
	Butyle (isobuthène)	1 200	0,24	1 400
	Polysulfide	1 700	0,40	1 000
	Silicone (pur)	1 200	0,35	1 000
	Polyisobutylène	930	0,20	1 100
	Résine polyester	1 400	0,19	1 200
	Résine époxyde	1 200	0,20	1 400
	Silica-gel (dessicatif)	720	0,13	1 000
	Mousse de silicone, LD	750	0,12	1 000
	Mousse de silicone, MD	820	0,17	1 000

ANNEXE B

Résistance thermique (valeur R) des matériaux de construction non homogènes

Certaines parois sont construites à l'aide de grands éléments à parties creuses (p. ex. des blocs de béton creux, des briques creuses, des matériaux mixtes...). Ces matériaux ne peuvent pas être caractérisés par une conductivité thermique donnée et sont dès lors caractérisés par une résistance thermique R_U , qui tient compte des conditions climatiques extérieures et intérieures comme expliqué dans l'Annexe A. La valeur de R_U dont il faut tenir compte est tirée de mesures de la valeur U, conformément aux dispositions de la norme NBN EN 8990.

On tient compte de la température et de la teneur en humidité prévisible dans le matériau. Si l'on ne dispose pas de résultats d'essais, on calcule les valeurs R_U selon la méthode de calcul numérique de NBN EN ISO 10211. On peut aussi utiliser les valeurs $R_{U,i}$ par défaut reprises au tableau B1. Ces valeurs sont valables pour des conditions intérieures et peuvent s'utiliser pour des températures situées entre -10°C et 30°C .

Tableau B.1 - Résistance thermique et chaleur massique des matériaux non homogènes			
<i>La chaleur massique c est de 1 000 J/(kg.K)</i>			
Matériaux	Épaisseur des éléments	$R_{U,i}$ ($\text{m}^2\cdot\text{K}$)/W	
Maçonnerie en bloc creux de béton lourd ($\rho > 1\,200\text{ kg/m}^3$)	d = 14 cm	0.11	
	d = 19 cm	0.14	
	d = 29 cm	0.20	
Maçonnerie en bloc creux de béton léger ($\rho \leq 1\,200\text{ kg/m}^3$)	d = 14 cm	0.30	
	d = 19 cm	0.35	
	d = 29 cm	0.45	
Planchers bruts préfabriqués en éléments creux de terre cuite	1 creux dans le sens du flux	d = 8 cm	0.08
		d = 12 cm	0.11
	2 creux dans le sens du flux	d = 12 cm	0.13
		d = 16 cm	0.16
		d = 20 cm	0.19
Planchers bruts préfabriqués en béton lourd (avec éléments creux)	d = 12 cm	0.11	
	d = 16 cm	0.13	
	d = 20 cm	0.15	
Plaques de plâtre entre deux couches de carton	d < 1.4 cm	0.05	
	d \geq 1.4 cm	0.08	

ANNEXE C

Teneur en humidité et facteurs de conversion pour matériaux pierreux

Tableau C.1 – Teneurs en humidité et facteurs de conversion pour matériaux pierreux							
Matériau	Masse volumique ρ (kg/m ³)	Teneur en humidité à 23°C et 50% HR (NBN EN ISO 10456)		Teneur en humidité à 20°C et 75% du coefficient de saturation critique		Facteur de conversion pour l'humidité (NBN EN ISO 10456)	
		u_{2i} kg/kg	Ψ_{2i} m ³ /m ³	u_{2e} kg/kg	Ψ_{2e} m ³ /m ³	f_u kg/kg	f_Ψ m ³ /m ³
Terre cuite	700-2100	-	0.007	-	0.075	-	10
Pierre silico-calcaire	900-2200	-	0.012	-	0.090	-	10
Béton avec granulats normaux	1600-2400	-	0.025	-	0.090	-	4
Béton avec argile expansée	400-1700	0.020	-	0.090	-	4	-
Béton avec autres granulats légers	500-1800	-	0.030	-	0.090	-	4
Béton cellulaire	300-700	0.026	-	0.150	-	4	-
Béton de polystyrène	500-800	-	0.015	-	0.090	-	5
Mortier	250-2000	-	0.040	-	0.150	-	4

NOTE Les taux d'humidité et les facteurs de conversion des matériaux non mentionnés dans le Tableau C.1, sont données dans la norme NBN EN ISO 10456, pour autant qu'ils soient disponibles.

ANNEXE D

Valeurs tabulées simplifiées de la valeur moyenne $U_{w,T}$ pour un ensemble de fenêtres à caractéristiques identiques.

D.1 Conditions dans lesquelles les tableaux ont été établis

Les valeurs $U_{w,T}$ données dans les tableaux de l'annexe D, ont été déterminées sous les conditions suivantes :

- 1) Toutes les fenêtres ne sont pas pourvues de panneaux opaques et/ou de grilles de ventilation (voir NOTES 1 et 2)
- 2) Les formules simplifiées suivantes s'appliquent:
 - si $U_g \leq U_f$, alors : $U_{w,T} = 0,7 U_g + 0,3 U_f + 3 \Psi_{f,g}$ (W/m²K)
 - si $U_g > U_f$, alors : $U_{w,T} = 0,8 U_g + 0,2 U_f + 3 \Psi_{f,g}$ (W/m²K)
- 3) Pour déterminer les valeurs $\Psi_{f,g}$ des raccords entre les profilés d'encadrement et le vitrage, les valeurs du Tableau G1 (voir annexe G) sont reprises, indépendamment du matériau de profilé d'encadrement.

NOTE 1 Les tableaux D1 et D2 peuvent aussi être utilisés pour des (ensembles de) fenêtres équipés de panneaux opaques, à condition que $U_p \leq U_g$.

NOTE 2 Les tableaux D1 et D2 peuvent aussi être utilisés pour des (ensembles de) fenêtres équipés de grilles de ventilation, à condition que $U_r \leq U_g$.

Par contre, si $U_r > U_g$ (cas le plus fréquent), on peut continuer à utiliser les tableaux D1 et D2, à condition d'ajouter un terme $\Sigma (\Psi_r \cdot l_r) / \Sigma A_{wd}$. On peut adopter ici la valeur par défaut de $\Psi_r = 0,5$ W/mK, à condition que la hauteur de la grille reste inférieure à 0,08 m. En règle générale, cette hauteur de grille H_r doit satisfaire à l'exigence : $H_r \leq \Psi_r / U_r$ (m).

D.2 Utilisation des tableaux

- 1) Déterminez la valeur U_g du vitrage suivant les dispositions de 8.3 (valeurs de calcul)
- 2) Déterminez la valeur U_f de l'encadrement suivant les dispositions de 8.2.2 (bois), 8.2.3.1 (métal à coupure thermique), 8.2.3.2 (métal sans coupure thermique) ou 8.2.4 (plastique)
- 3) Déterminez dans le Tableau D1 ou le Tableau D2, selon la nature de l'intercalaire, la valeur $U_{w,T}$ qui correspond aux valeurs choisies pour U_g et U_f . Si la nature de l'intercalaire est inconnue, cherchez la valeur $U_{w,T}$ dans le Tableau D1 (intercalaires normaux).

Tableau D1 – Coefficient de transmission thermique $U_{w,T}$ d'un ensemble de fenêtres vitrées, non équipées de panneaux opaques et/ou de grilles ⁴ (calcul simplifié) – Intercalaires normaux (voir G.2 en annexe G)

Valeurs U_g vitrage (W/m ² K)	Valeurs U_f (W/m ² K) des profilés																							
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,9	7,0
5,7	4,72	4,76	4,80	4,84	4,88	4,92	4,96	5,00	5,04	5,08	5,12	5,16	5,20	5,24	5,28	5,32	5,36	5,40	5,44	5,48	5,52	5,56	5,76	6,09
3,3	2,98	3,02	3,06	3,10	3,14	3,18	3,22	3,26	3,30	3,34	3,38	3,42	3,46	3,51	3,57	3,63	3,69	3,75	3,81	3,87	3,93	3,99	4,14	4,47
3,2	2,90	2,94	2,98	3,02	3,06	3,10	3,14	3,18	3,22	3,26	3,30	3,34	3,38	3,44	3,50	3,56	3,62	3,68	3,74	3,80	3,86	3,92	4,07	4,40
3,1	2,82	2,86	2,90	2,94	2,98	3,02	3,06	3,10	3,14	3,18	3,22	3,26	3,31	3,37	3,43	3,49	3,55	3,61	3,67	3,73	3,79	3,85	4,00	4,33
3,0	2,74	2,78	2,82	2,86	2,90	2,94	2,98	3,02	3,06	3,10	3,14	3,18	3,24	3,30	3,36	3,42	3,48	3,54	3,60	3,66	3,72	3,78	3,93	4,26
2,9	2,66	2,70	2,74	2,78	2,82	2,86	2,90	2,94	2,98	3,02	3,06	3,11	3,17	3,23	3,29	3,35	3,41	3,47	3,53	3,59	3,65	3,71	3,86	4,19
2,8	2,58	2,62	2,66	2,70	2,74	2,78	2,82	2,86	2,90	2,94	2,98	3,04	3,10	3,16	3,22	3,28	3,34	3,40	3,46	3,52	3,58	3,64	3,79	4,12
2,7	2,50	2,54	2,58	2,62	2,66	2,70	2,74	2,78	2,82	2,86	2,91	2,97	3,03	3,09	3,15	3,21	3,27	3,33	3,39	3,45	3,51	3,57	3,72	4,05
2,6	2,42	2,46	2,50	2,54	2,58	2,62	2,66	2,70	2,74	2,78	2,84	2,90	2,96	3,02	3,08	3,14	3,20	3,26	3,32	3,38	3,44	3,50	3,65	3,98
2,5	2,34	2,38	2,42	2,46	2,50	2,54	2,58	2,62	2,66	2,71	2,77	2,83	2,89	2,95	3,01	3,07	3,13	3,19	3,25	3,31	3,37	3,43	3,58	3,91
2,4	2,26	2,30	2,34	2,38	2,42	2,46	2,50	2,54	2,58	2,64	2,70	2,76	2,82	2,88	2,94	3,00	3,06	3,12	3,18	3,24	3,30	3,36	3,51	3,84
2,3	2,18	2,22	2,26	2,30	2,34	2,38	2,42	2,46	2,51	2,57	2,63	2,69	2,75	2,81	2,87	2,93	2,99	3,05	3,11	3,17	3,23	3,29	3,44	3,77
2,2	2,10	2,14	2,18	2,22	2,26	2,30	2,34	2,38	2,44	2,50	2,56	2,62	2,68	2,74	2,80	2,86	2,92	2,98	3,04	3,10	3,16	3,22	3,37	3,70
2,0	2,09	2,13	2,17	2,21	2,25	2,29	2,33	2,39	2,45	2,51	2,57	2,63	2,69	2,75	2,81	2,87	2,93	2,99	3,05	3,11	3,17	3,23	3,32	3,65
1,9	2,01	2,05	2,09	2,13	2,17	2,21	2,26	2,32	2,38	2,44	2,50	2,56	2,62	2,68	2,74	2,80	2,86	2,92	2,98	3,04	3,10	3,16	3,25	3,58
1,8	1,93	1,97	2,01	2,05	2,09	2,13	2,19	2,25	2,31	2,37	2,43	2,49	2,55	2,61	2,67	2,73	2,79	2,85	2,91	2,97	3,03	3,09	3,18	3,51
1,7	1,85	1,89	1,93	1,97	2,01	2,06	2,12	2,18	2,24	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,60	2,66	2,72	2,78	2,84	2,90	2,96	3,02	3,11	3,44
1,6	1,77	1,81	1,85	1,89	1,93	1,99	2,05	2,11	2,17	2,23	2,29	2,35	2,41	2,47	2,53	2,59	2,65	2,71	2,77	2,83	2,89	2,95	3,04	3,37
1,5	1,69	1,73	1,77	1,81	1,86	1,92	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,28	2,34	2,40	2,46	2,52	2,58	2,64	2,70	2,76	2,82	2,88	2,97	3,30
1,4	1,61	1,65	1,69	1,73	1,79	1,85	1,91	1,97	2,03	2,09	2,15	2,21	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,57	2,63	2,69	2,75	2,81	2,90	3,23
1,3	1,53	1,57	1,61	1,66	1,72	1,78	1,84	1,90	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,26	2,32	2,38	2,44	2,50	2,56	2,62	2,68	2,74	2,83	3,16
1,2	1,45	1,49	1,53	1,59	1,65	1,71	1,77	1,83	1,89	1,95	2,01	2,07	2,13	2,19	2,25	2,31	2,37	2,43	2,49	2,55	2,61	2,67	2,76	3,09
1,1	1,37	1,41	1,46	1,52	1,58	1,64	1,70	1,76	1,82	1,88	1,94	2,00	2,06	2,12	2,18	2,24	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,60	2,69	3,02
1	1,29	1,33	1,39	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,75	1,81	1,87	1,93	1,99	2,05	2,11	2,17	2,23	2,29	2,35	2,41	2,47	2,53	2,62	2,95
0,9	1,21	1,26	1,32	1,38	1,44	1,50	1,56	1,62	1,68	1,74	1,80	1,86	1,92	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,28	2,34	2,40	2,46	2,55	2,88
0,8	1,13	1,19	1,25	1,31	1,37	1,43	1,49	1,55	1,61	1,67	1,73	1,79	1,85	1,91	1,97	2,03	2,09	2,15	2,21	2,27	2,33	2,39	2,48	2,81
0,7	1,06	1,12	1,18	1,24	1,30	1,36	1,42	1,48	1,54	1,60	1,66	1,72	1,78	1,84	1,90	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,26	2,32	2,41	2,74
0,6	0,99	1,05	1,11	1,17	1,23	1,29	1,35	1,41	1,47	1,53	1,59	1,65	1,71	1,77	1,83	1,89	1,95	2,01	2,07	2,13	2,19	2,25	2,34	2,67
0,5	0,92	0,98	1,04	1,10	1,16	1,22	1,28	1,34	1,40	1,46	1,52	1,58	1,64	1,70	1,76	1,82	1,88	1,94	2,00	2,06	2,12	2,18	2,27	2,60

⁴ Le tableau peut s'utiliser pour un ensemble de fenêtres à panneau de remplissage et/ou grille de ventilation, à condition que $U_p \leq U_g$ et/ou $U_r \leq U_g$. Si la grille de ventilation est affectée d'un $U_r > U_g$ (le plus courant), chaque valeur tabulée doit être augmentée du terme $\Sigma (\Psi_r \cdot I_r) / \Sigma A_{wd}$, où $\Psi_r = 0,5$ W/mK et si la hauteur de grille $H_r \leq 0,08$ m.

Tableau D2 – Coefficient de transmission thermique $U_{w,T}$ d'un ensemble de fenêtres vitrées, non équipées de panneaux opaques et/ou de grilles ⁵ (calcul simplifié) – Intercalaires à performances thermiques améliorées (voir G.2 en annexe G)

Valeurs U_g vitrage (W/m ² K)	Valeurs U_f (W/m ² K) des profilés																							
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,9	7,0
5,7	4,72	4,76	4,80	4,84	4,88	4,92	4,96	5,00	5,04	5,08	5,12	5,16	5,20	5,24	5,28	5,32	5,36	5,40	5,44	5,48	5,52	5,56	5,76	6,09
3,3	2,95	2,99	3,03	3,07	3,11	3,15	3,19	3,23	3,27	3,31	3,35	3,39	3,43	3,48	3,54	3,60	3,66	3,72	3,78	3,84	3,90	3,96	4,11	4,44
3,2	2,87	2,91	2,95	2,99	3,03	3,07	3,11	3,15	3,19	3,23	3,27	3,31	3,35	3,41	3,47	3,53	3,59	3,65	3,71	3,77	3,83	3,89	4,04	4,37
3,1	2,79	2,83	2,87	2,91	2,95	2,99	3,03	3,07	3,11	3,15	3,19	3,23	3,28	3,34	3,40	3,46	3,52	3,58	3,64	3,70	3,76	3,82	3,97	4,30
3,0	2,71	2,75	2,79	2,83	2,87	2,91	2,95	2,99	3,03	3,07	3,11	3,15	3,21	3,27	3,33	3,39	3,45	3,51	3,57	3,63	3,69	3,75	3,90	4,23
2,9	2,63	2,67	2,71	2,75	2,79	2,83	2,87	2,91	2,95	2,99	3,03	3,08	3,14	3,20	3,26	3,32	3,38	3,44	3,50	3,56	3,62	3,68	3,83	4,16
2,8	2,55	2,59	2,63	2,67	2,71	2,75	2,79	2,83	2,87	2,91	2,95	3,01	3,07	3,13	3,19	3,25	3,31	3,37	3,43	3,49	3,55	3,61	3,76	4,09
2,7	2,47	2,51	2,55	2,59	2,63	2,67	2,71	2,75	2,79	2,83	2,88	2,94	3,00	3,06	3,12	3,18	3,24	3,30	3,36	3,42	3,48	3,54	3,69	4,02
2,6	2,39	2,43	2,47	2,51	2,55	2,59	2,63	2,67	2,71	2,75	2,81	2,87	2,93	2,99	3,05	3,11	3,17	3,23	3,29	3,35	3,41	3,47	3,62	3,95
2,5	2,31	2,35	2,39	2,43	2,47	2,51	2,55	2,59	2,63	2,68	2,74	2,80	2,86	2,92	2,98	3,04	3,10	3,16	3,22	3,28	3,34	3,40	3,55	3,88
2,4	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39	2,43	2,47	2,51	2,55	2,61	2,67	2,73	2,79	2,85	2,91	2,97	3,03	3,09	3,15	3,21	3,27	3,33	3,48	3,81
2,3	2,15	2,19	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39	2,43	2,48	2,54	2,60	2,66	2,72	2,78	2,84	2,90	2,96	3,02	3,08	3,14	3,20	3,26	3,41	3,74
2,2	2,07	2,11	2,15	2,19	2,23	2,27	2,31	2,35	2,41	2,47	2,53	2,59	2,65	2,71	2,77	2,83	2,89	2,95	3,01	3,07	3,13	3,19	3,34	3,67
2,1	1,99	2,03	2,07	2,11	2,15	2,19	2,23	2,28	2,34	2,40	2,46	2,52	2,58	2,64	2,70	2,76	2,82	2,88	2,94	3,00	3,06	3,12	3,27	3,60
2,0	1,97	2,01	2,05	2,09	2,13	2,17	2,21	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,57	2,63	2,69	2,75	2,81	2,87	2,93	2,99	3,05	3,11	3,29	3,62
1,9	1,89	1,93	1,97	2,01	2,05	2,09	2,14	2,20	2,26	2,32	2,38	2,44	2,50	2,56	2,62	2,68	2,74	2,80	2,86	2,92	2,98	3,04	3,22	3,55
1,8	1,81	1,85	1,89	1,93	1,97	2,01	2,07	2,13	2,19	2,25	2,31	2,37	2,43	2,49	2,55	2,61	2,67	2,73	2,79	2,85	2,91	2,97	3,15	3,48
1,7	1,73	1,77	1,81	1,85	1,89	1,94	2,00	2,06	2,12	2,18	2,24	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,60	2,66	2,72	2,78	2,84	2,90	3,08	3,41
1,6	1,65	1,69	1,73	1,77	1,81	1,87	1,93	1,99	2,05	2,11	2,17	2,23	2,29	2,35	2,41	2,47	2,53	2,59	2,65	2,71	2,77	2,83	3,01	3,34
1,5	1,57	1,61	1,65	1,69	1,74	1,80	1,86	1,92	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,28	2,34	2,40	2,46	2,52	2,58	2,64	2,70	2,76	2,94	3,27
1,4	1,49	1,53	1,57	1,61	1,67	1,73	1,79	1,85	1,91	1,97	2,03	2,09	2,15	2,21	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,57	2,63	2,69	2,87	3,20
1,3	1,41	1,45	1,49	1,54	1,60	1,66	1,72	1,78	1,84	1,90	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,26	2,32	2,38	2,44	2,50	2,56	2,62	2,80	3,13
1,2	1,33	1,37	1,41	1,47	1,53	1,59	1,65	1,71	1,77	1,83	1,89	1,95	2,01	2,07	2,13	2,19	2,25	2,31	2,37	2,43	2,49	2,55	2,73	3,06
1,1	1,25	1,29	1,34	1,40	1,46	1,52	1,58	1,64	1,70	1,76	1,82	1,88	1,94	2,00	2,06	2,12	2,18	2,24	2,30	2,36	2,42	2,48	2,66	2,99
1	1,17	1,21	1,27	1,33	1,39	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,75	1,81	1,87	1,93	1,99	2,05	2,11	2,17	2,23	2,29	2,35	2,41	2,59	2,92
0,9	1,09	1,14	1,20	1,26	1,32	1,38	1,44	1,50	1,56	1,62	1,68	1,74	1,80	1,86	1,92	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,28	2,34	2,52	2,85
0,8	1,01	1,07	1,13	1,19	1,25	1,31	1,37	1,43	1,49	1,55	1,61	1,67	1,73	1,79	1,85	1,91	1,97	2,03	2,09	2,15	2,21	2,27	2,45	2,78
0,7	0,94	1,00	1,06	1,12	1,18	1,24	1,30	1,36	1,42	1,48	1,54	1,60	1,66	1,72	1,78	1,84	1,90	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,42	2,75
0,6	0,87	0,93	0,99	1,05	1,11	1,17	1,23	1,29	1,35	1,41	1,47	1,53	1,59	1,65	1,71	1,77	1,83	1,89	1,95	2,01	2,07	2,13	2,31	2,64
0,5	0,80	0,86	0,92	0,98	1,04	1,10	1,16	1,22	1,28	1,34	1,40	1,46	1,52	1,58	1,64	1,70	1,76	1,82	1,88	1,94	2,00	2,06	2,24	2,57

⁵ Le tableau peut s'utiliser pour un ensemble de fenêtres à panneau de remplissage et/ou grille de ventilation, à condition que $U_p \leq U_g$ et/ou $U_r \leq U_g$. Si la grille de ventilation est affectée d'un $U_r > U_g$ (le plus courant), chaque valeur tabulée doit être augmentée du terme $\Sigma (\Psi_r \cdot I_r) / \Sigma A_{wd}$, où $\Psi_r = 0,5$ W/mK et si la hauteur de grille $H_r \leq 0,08$ m.

ANNEXE E

Coefficient de transmission thermique des vitrages (valeurs U_g)

Type de vitrage (toutes les feuilles de verre ont 4 mm d'épaisseur)				U_g (W/m ² K) (1) (NBN EN ISO 10077-1)				
Type	Couche de revêtement	Facteur d'émission normale	Dimensions (mm)	Sorte de remplissage de la lame d'air (concentration de gaz $\geq 90\%$)				
				Air	Argon	Krypton	SF ₆	Xénon
double vitrage	néant (double vitrage normal)	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0	2,6
			4-8-4	3,1	2,9	2,7	3,1	2,6
			4-12-4	2,6	2,7	2,6	3,1	2,6
			4-16-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
	1 vitre avec couche réfléchissante	$\leq 0,2$	4-6-4	2,7	2,3	1,9	2,3	1,6
			4-8-4	2,4	2,1	1,7	2,4	1,6
			4-12-4	2,0	1,8	1,6	2,4	1,6
			4-16-4	1,8	1,6	1,6	2,5	1,6
	1 vitre avec couche réfléchissante	$\leq 0,15$	4-20-4	1,8	1,7	1,6	2,5	1,7
			4-6-4	2,6	2,3	1,8	2,2	1,5
			4-8-4	2,3	2,0	1,6	2,3	1,4
			4-12-4	1,9	1,6	1,5	2,3	1,5
	1 vitre avec couche réfléchissante	$\leq 0,1$	4-16-4	1,7	1,5	1,5	2,4	1,5
			4-20-4	1,7	1,5	1,5	2,4	1,5
			4-6-4	2,6	2,2	1,7	2,1	1,4
			4-8-4	2,2	1,9	1,4	2,2	1,3
	1 vitre avec couche réfléchissante	$\leq 0,1$	4-12-4	1,8	1,5	1,3	2,3	1,3
			4-16-4	1,6	1,4	1,3	2,3	1,4
			4-20-4	1,6	1,4	1,4	2,3	1,4
4-6-4			2,5	2,1	1,5	2,0	1,2	
1 vitre avec couche réfléchissante	$\leq 0,05$	4-8-4	2,1	1,7	1,3	2,1	1,1	
		4-12-4	1,7	1,3	1,1	2,1	1,2	
		4-16-4	1,4	1,2	1,2	2,2	1,2	
		4-20-4	1,5	1,2	1,2	2,2	1,2	
triple vitrage	néant (triple vitrage normal)	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8	1,9	1,7
			4-8-4-8-4	2,1	1,9	1,7	1,9	1,6
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0	1,6
	2 vitres avec couche réfléchissante	$\leq 0,2$	4-6-4-6-4	1,8	1,5	1,1	1,3	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,3	1,0	1,3	0,8
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,8	1,3	0,8
	2 vitres avec couche réfléchissante	$\leq 0,15$	4-6-4-6-4	1,7	1,4	1,1	1,2	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,2	0,9	1,2	0,8
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,7	1,3	0,7
	2 vitres avec couche réfléchissante	$\leq 0,1$	4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0	1,1	0,8
			4-8-4-8-4	1,4	1,1	0,8	1,1	0,7
			4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2	0,6
2 vitres avec couche réfléchissante	$\leq 0,05$	4-6-4-6-4	1,6	1,2	0,9	1,1	0,7	
		4-8-4-8-4	1,3	1,0	0,7	1,1	0,5	
		4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5	1,1	0,5	

(1) Conventions pour les vitrages dont certaines caractéristiques sont inconnues :

- revêtement inconnu: prenez les valeurs pour $\varepsilon_0 = 0,89$ (pas de revêtement)
- largeur de lame d'air inconnue: prenez les valeurs pour la plus petite largeur de lame d'air
- remplissage de gaz inconnu: prenez les valeurs pour un remplissage à l'air

Tableau E 1 – Coefficient de transmission thermique de la partie centrale d'un vitrage verticale (sans tenir compte des effets périphériques), U_g en W/m²K, calculé selon la norme NBN EN 673

ANNEXE F

Coefficients de transmission thermique des profilés d'encadrement (valeurs U_f).

Valeurs par défaut selon la norme NBN EN ISO 10077-1.

Cette annexe s'applique aux profilés d'encadrement posés à la verticale qui satisfont aux critères ou conditions indiqués. Pour tous les autres profilés d'encadrement, il faut déterminer les valeurs U_f tel qu'expliqué en 8.2.

F.1 Profilés d'encadrement en bois

Pour les profilés d'encadrement en bois, on peut prendre les valeurs U_f simplifiées du Tableau F 1. L'incidence de l'aire développée (par rapport à l'aire projetée) est incluse dans la valeur U_f .

Épaisseur du profilé d'encadrement d_f (en mm) (voir Figure F 1)	U_f (W/m ² K) (1) (NBN EN ISO 10077-1)	
	Bois résineux ($\rho \leq 500$ kg/m ³) (2) $\lambda_U = 0,13$ W/mK	Bois feuillus ($500 < \rho \leq 700$ kg/m ³) (2) $\lambda_U = 0,18$ W/mK
50	2,00	2,36
60	1,93	2,20
70	1,78	2,08
80	1,67	1,96
90	1,58	1,86
100	1,48	1,75
110	1,40	1,68
120	1,32	1,58
130	1,25	1,50
140	1,18	1,40
150	1,12	1,34
(1)	Conventions pour les profilés d'encadrement en bois dont certaines caractéristiques sont inconnues:	
	<ul style="list-style-type: none"> • épaisseur des profilés d'encadrement inconnue: prenez la plus petite épaisseur de profilé d'encadrement • espèce de bois inconnue: prenez les valeurs pour bois feuillus 	
(2)	Masse volumique moyenne à 12% de teneur en humidité	

Tableau F 1 – Coefficients de transmission thermique des profilés d'encadrement en bois , U_f en W/m²K

On détermine l'épaisseur (d_f) des profilés d'encadrement en bois comme l'épaisseur moyenne des profilés d'encadrement constitutifs (dormant et ouvrant), tel qu'illustré à la Figure F 1. Pour des valeurs intermédiaires des épaisseurs des profilés d'encadrement, les valeurs U_f peuvent être obtenues par extrapolation.

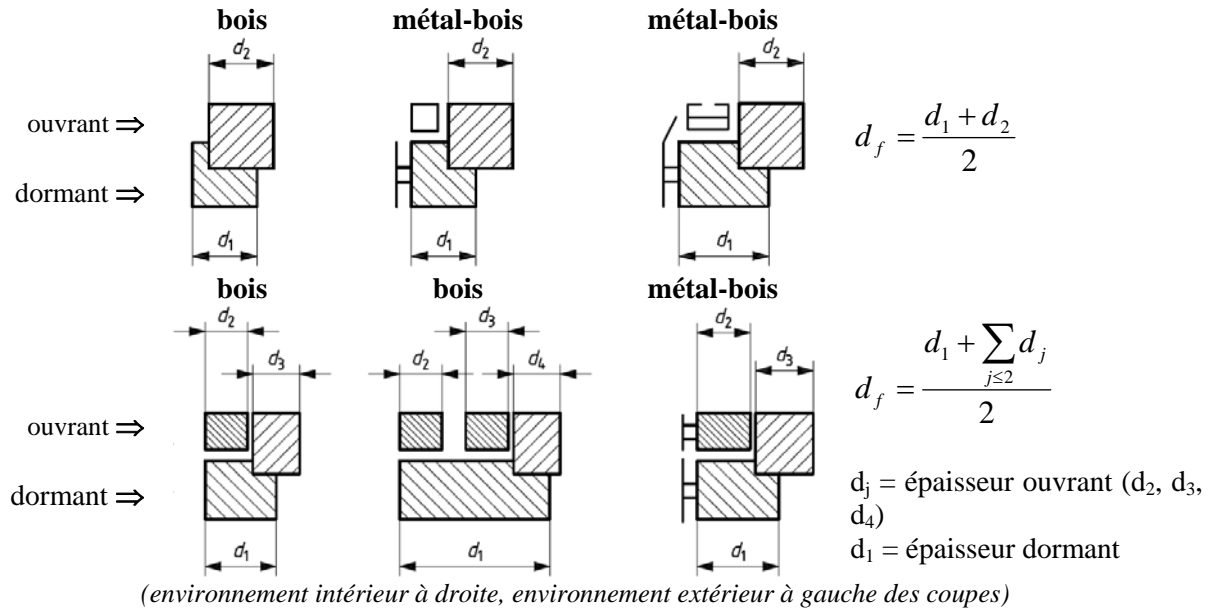


Figure F 1 – Définition de l'épaisseur d_f des différents profils d'encadrement en bois.

F.2 Profils d'encadrement métalliques

F.2.1 Généralités

La résistance thermique R_f d'un profilé d'encadrement métallique est donnée par :

$$R_f = \frac{1}{U_{f0}} - 0,17 \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (\text{F } 1)$$

où:

- U_{f0} (W/m²K) : valeur U du profilé d'encadrement, calculée comme si l'aire développée était égale à l'aire projetée (voir Tableau F 2).

La valeur U_f du profilé d'encadrement métallique est donnée par :

$$U_f = \frac{1}{\frac{R_{si} A_{f,i}}{A_{d,i}} + R_f + \frac{R_{se} A_{f,e}}{A_{d,e}}} \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (\text{F } 2)$$

où:

- $A_{d,i}$, $A_{d,e}$, $A_{f,i}$, $A_{f,e}$ (m²) : les aires des profilés d'encadrement, définies en 9.1.2 ;
- R_{si} (m²K/W) : résistance thermique d'échange à la surface intérieure du profilé d'encadrement, selon Tableau 9 ;
- R_{se} (m²K/W) : résistance thermique d'échange à la surface extérieure du profilé d'encadrement, selon Tableau 9 ;
- R_f (m²K/W) : la résistance thermique du profilé d'encadrement, calculée selon (F 1).

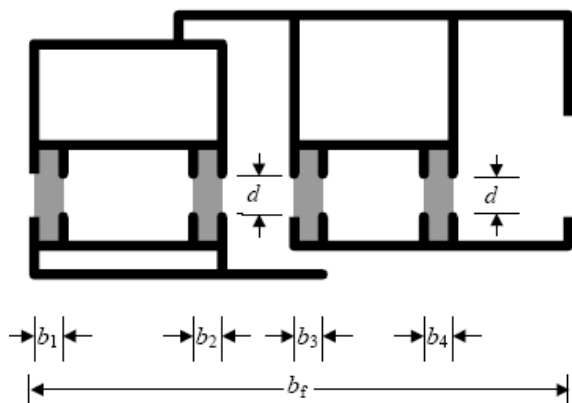
F.2.2 Profils d'encadrement métalliques à coupure thermique

Une coupure thermique a pour but de séparer complètement les parties des profils d'encadrement métalliques situées du côté chaud de la fenêtre des parties de ces profils d'encadrement situées du côté froid.

Dans le cas de profils d'encadrement métalliques à coupure thermique, la valeur U_f est influencée par des caractéristiques constructives telles que :

- la plus petite distance d entre les sections métalliques interrompues ;
- la largeur totale b des coupures thermiques proprement dites ;
- la conductivité thermique λ du matériau de la coupure thermique ;
- le rapport entre la largeur totale de la coupure thermique et la largeur projetée totale du profilé d'encadrement.

Le Tableau F 2 donne des valeurs U_f à utiliser pour les deux types de profils d'encadrement métalliques illustrés à la Figure F 2 et la Figure F 3, et pour lesquels les conditions suivantes sont d'application :



La conductivité thermique du matériau de la coupure thermique est telle que:

$$0,2 < \lambda \leq 0,3 \text{ W/mK}$$

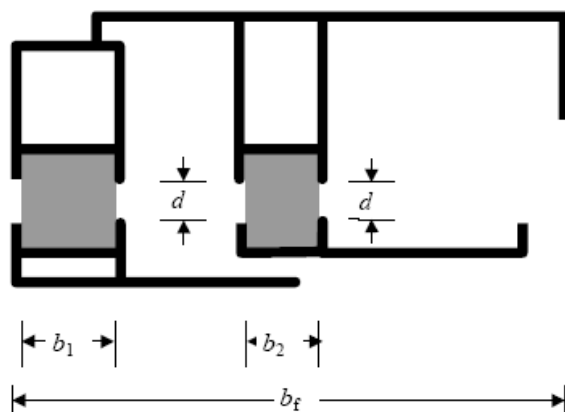
d : est la plus petite distance entre les profils d'encadrement métalliques séparés par la coupure

b_j : est la largeur de la coupure j

b_f : est la largeur du profilé d'encadrement

$$\sum_j b_j \leq 0,2 \cdot b_f$$

Figure F 2 – Section de type 1: coupure thermique avec $0,2 < \lambda \leq 0,3 \text{ W/mK}$



La conductivité thermique du matériau de la coupure thermique est telle que:

$$0,1 < \lambda \leq 0,2 \text{ W/mK}$$

d : est la plus petite distance entre les profils d'encadrement métalliques séparés par la coupure

b_j : est la largeur de la coupure j

b_f : est la largeur du profilé d'encadrement

$$\sum_j b_j \leq 0,3 \cdot b_f$$

Figure F 3 – Section de type 2: coupure thermique avec $0,1 < \lambda \leq 0,2 \text{ W/mK}$

d (en mm) : plus petite distance entre les profilés d'encadrement métalliques à coupure thermique	U_{f0} (W/m ² K) (1)	U_f (W/m ² K) (2) (3)
8	3,56	4,51
10	3,36	4,19
12	3,18	3,91
14	3,08	3,76
16	2,96	3,59
18	2,85	3,43
20	2,75	3,28
22	2,70	3,21
24	2,60	3,07
26	2,58	3,04
28	2,55	3,00
30	2,53	2,97
32	2,52	2,96
34	2,51	2,95
36	2,50	2,93
(1)	U_{f0} est la valeur U_f théorique du profilé si les aires projetées et développées du profilé d'encadrement sont égales tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, c.-à-d. si $A_{f,i}/A_{d,i} = 1$ et $A_{f,e}/A_{d,e} = 1$	
(2)	Si la plus petite distance d entre les profilés d'encadrement à coupure thermique n'est pas connue: prenez d = 10 mm. Les valeurs U_f ne sont valables que si le rapport $A_{f,i}/A_{d,i} \geq 0,50$, sinon il faut effectuer un calcul précis suivant NBN EN ISO 10077-2.	
(3)	Les valeurs U_f ont été calculées suivant les formules de l'annexe D de NBN EN ISO 10077-1 ; on y tient compte d'une valeur limite (inférieure) fixe des rapports entre aires projetées et aires développées à l'intérieur et à l'extérieur des profilés d'encadrement métalliques, respectivement égale à $A_{f,i}/A_{d,i} = 0,60$ en $A_{f,e}/A_{d,e} = 0,82$	

Tableau F 2 – Coefficient de transmission thermique de profilés d'encadrement métalliques à coupure thermique, U_f en W/m²K

F.2.3 Profilés d'encadrement métalliques sans coupure thermique

La règle générale qui s'applique pour les profilés d'encadrement sans coupure thermique est $R_f = 0$ m²K/W et $U_{f0} = 5,90$ W/m²K.

Selon les rapports des aires $A_{f,i}/A_{d,i}$ et $A_{f,e}/A_{d,e}$, la valeur U_f correspondante des profilés d'encadrement métalliques sans coupure thermique, calculée selon (F.2), varie entre :

- $U_f = 5,9$ W/m²K (pour $A_{f,i}/A_{d,i} = 1$ et $A_{f,e}/A_{d,e} = 1$) ;
- $U_f = 9,0$ W/m²K (pour les valeurs limites inférieures fixes : $A_{f,i}/A_{d,i} = 0,60$ et $A_{f,e}/A_{d,e} = 0,82$).

F.3 Profilés d'encadrement en matière plastique

La Figure F 4 présente un exemple de profilé d'encadrement en plastique où trois chambres sont placées en série avec le flux thermique et dont la chambre centrale est équipée d'un renforcement métallique.

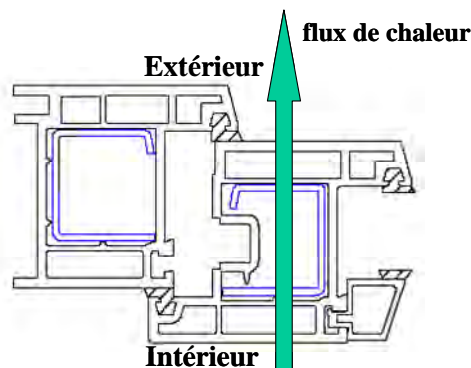


Figure F 4 – Profilé d'encadrement en plastique avec renforcement et 3 chambres en série avec le flux thermique

Le Tableau F 3 donne des valeurs U_f simplifiées pour les profilés d'encadrement en plastique avec renforcements métalliques. L'effet de la surface développée (par rapport à la surface projetée) est également compris dans la valeur U_f . Si on ne connaît pas d'autres données, on peut aussi utiliser les valeurs relatives aux profilés d'encadrement sans renforcements.

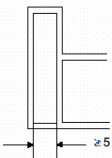


Matériau et type de profilé d'encadrement		U_f (W/m ² K) (1)
Profilé d'encadrement en PVC minimum 5 mm entre les parois des chambres (2) 	2 chambres (en série avec le flux thermique) avec ou sans renforcement extérieur  intérieur	2,20
	3 chambres (en série avec le flux thermique) avec ou sans renforcement extérieur  intérieur	2,00
	4 chambres (en série avec le flux thermique) avec ou sans renforcement	1,80
	5 chambres (en série avec le flux thermique) avec ou sans renforcement	1,60
Profilé d'encadrement en PUR	avec noyau métallique et épaisseur minimum de 5 mm de PUR	2,80
(1) <u>Conventions pour les profilés d'encadrement en plastique dont certaines caractéristiques sont inconnues:</u> <ul style="list-style-type: none"> matériau inconnu: prenez comme U_f celle du profilé d'encadrement en PUR nombre de chambres inconnu: prenez comme valeur U_f celle des profilés d'encadrement à 2 chambres 		
(2) Pour les distances inférieures à 5 mm, il faut déterminer la valeur U_f par calcul (NBN EN ISO 10077-2) ou par essai (NBN EN 12412-2)		

Tableau F 3 – Coefficient de transmission thermique des profilés d'encadrement en plastique, U_f en W/m²K

ANNEXE G

Coefficient de transmission thermique linéique (valeurs Ψ) des jonctions entre profilés d'encadrement, vitrages, panneaux opaques et traverses.

G.1 Généralités

Voir NBN EN ISO 10077-1 (Annexe E1) - Généralités

Les valeurs U_g indiquées pour le vitrage et la valeur U_p des panneaux opaques s'appliquent à la partie centrale du vitrage ou au panneau opaque et ne comprennent PAS l'effet des intercalaires sur les bords du verre ou du panneau. Par ailleurs, on détermine la valeur U_f du profilé d'encadrement pour les profilés d'encadrement qui ne sont pas équipés d'un vitrage.

Le coefficient de transmission thermique linéique (valeur Ψ) décrit la transmission thermique supplémentaire qui se produit entre l'encadrement, le vitrage (ou panneau opaque) et l'intercalaire. La valeur Ψ est principalement influencée par la conductivité thermique du matériau dont se compose l'intercalaire, ainsi que par la conception de la fenêtre. La présente annexe donne la valeur Ψ relative à des combinaisons typiques de profilés d'encadrement, vitrages (ou panneaux) et intercalaires. De plus, on traite également des jonctions présentes dans les façades légères, c.-à-d. les combinaisons de vitrages (ou panneaux), profilés d'encadrement, meneaux et traverses.

Toutes les valeurs qui ne sont pas couvertes par le domaine d'application des différents tableaux doivent être déterminées à l'aide d'un calcul numérique, conformément aux directives de NBN EN ISO 10077-2.

G.2 Jonction entre profilé d'encadrement et vitrage

Voir NBN EN ISO 10077-1 (Annexe E.2) – Intercalaires en aluminium et en acier

Voir NBN EN ISO 10077-1 (Annexe E.3) – Intercalaires thermiquement améliorés

Dans le cadre de cette norme, on établit une différence entre intercalaires normaux (en aluminium ou en acier) et intercalaires thermiquement améliorés, qui répondent au critère en matière de coupure thermique suivant :

$$\Sigma (d \times \lambda) \leq 0,007 \quad \text{W/K} \quad (\text{G1})$$

où:

- d (m) : l'épaisseur de la paroi de l'intercalaire
- λ (W/mK) : la conductivité thermique du matériau de l'intercalaire (voir Tableau A.16)

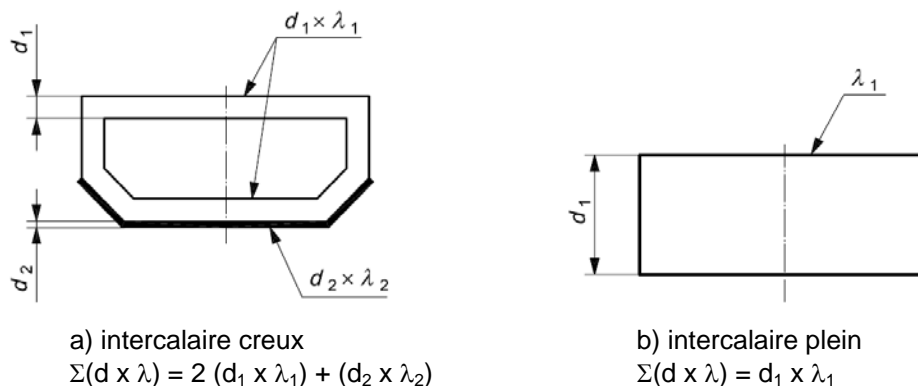


Figure G 1 – Exemples de détermination du critère d'un intercalaire thermiquement amélioré

Le critère est valable pour tous les flux thermiques qui s'écoulent parallèlement au flux thermique principal, l'épaisseur d étant mesurée perpendiculairement au flux thermique principal (voir Figure G 1).

Le Tableau G 1 donne des valeurs $\Psi_{f,g}$ par défaut pour la jonction entre profilés d'encadrement et vitrages pourvus d'intercalaires normaux d'une part et thermiquement améliorés d'autre part.

Type de profilés d'encadrement	Vitrage multiple (feuilles de verre de 4 mm)			
	Vitrage sans revêtement		Vitrage avec revêtement	
	intercalaire normal	intercalaire isolant	intercalaire normal	intercalaire isolant
Bois ou PVC	0,06	0,05	0,08	0,06
Métallique avec coupure thermique	0,08	0,06	0,11	0,08
Métallique sans coupure thermique	0,02	0,01	0,05	0,04

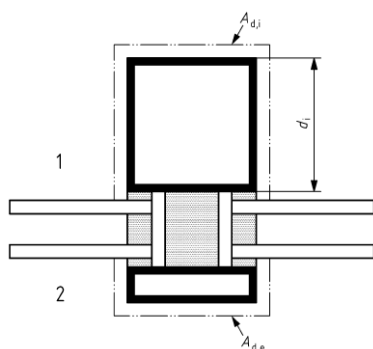
Tableau G 1 - Valeurs $\Psi_{f,g}$ par défaut pour les jonctions entre profilés d'encadrement et vitrages pourvus d'intercalaires normaux et d'intercalaires thermiquement améliorés.

NOTE En général, pour un simple vitrage, $\Psi_{f,g} = 0$.

G.3 Jonction entre meneaux ou traverses et les vitrages

Voir NBN EN 13947 (Annexe B – Tableaux B1 et B2)

Le Tableau G 2 donne des valeurs $\Psi_{m,g}$ ou $\Psi_{t,g}$ par défaut pour la jonction entre les meneaux ou traverses et les vitrages pourvus d'intercalaires normaux et thermiquement améliorés.



1 : environnement intérieur
2 : environnement extérieur

d_i : profondeur de la traverse (ou meneau), mesurée du côté intérieur)

Figure G 2 – Profondeur intérieure de la traverse (ou meneau)

Type de traverse (matériaux)	d_i (mm) (*)	Vitrage multiple (feuilles de verre de 6 mm)			
		Vitrage sans revêtement		Vitrage avec revêtement	
		intercalaire normal	intercalaire isolant	intercalaire normal	intercalaire isolant
Aluminium-bois	-	0,08	0,06	0,11	0,08
Métal à coupure thermique	$d_i \leq 100$	0,13	0,09	0,17	0,11
	$100 < d_i \leq 200$	0,15	0,10	0,19	0,12

(*) d_i est la profondeur intérieure de la traverse ou meneau (voir Figure G 2)

Tableau G 1 - Valeurs $\Psi_{m(t),g}$ (W/mK) pour les jonctions entre traverses ou meneaux et vitrages pourvus d'intercalaires normaux et thermiquement améliorés

G.4 Jonction entre profilé d'encadrement et panneau opaque

Voir NBN EN 13947 (Annexe B – Tableau B5 1 + Figures B2 et B3)

En l'absence d'informations (mesurées ou calculées), on peut emprunter le coefficient de transmission thermique linéique ($\Psi_{f,p}$) de la jonction entre profilé d'encadrement, intercalaire et panneau opaque au Tableau G 3.

Type d'élément opaque	Conductivité thermique de l'intercalaire (W/mK)	Valeur $\Psi_{f,p}$ (W/mK)
Type 1 (voir Figure G 3): (aluminium/aluminium) – (aluminium/verre) – (acier/verre)	-	0,13
Type 2 (voir Figure G 3): aluminium / aluminium (avec revêtement)	0,2 0,4	0,20 0,29
aluminium / verre (avec revêtement)	0,2 0,4	0,18 0,20
acier / verre (avec revêtement)	0,2 0,4	0,14 0,18

Tableau G 2 - Valeurs $\Psi_{f,p}$ des jonctions entre profilé d'encadrement et panneau opaque

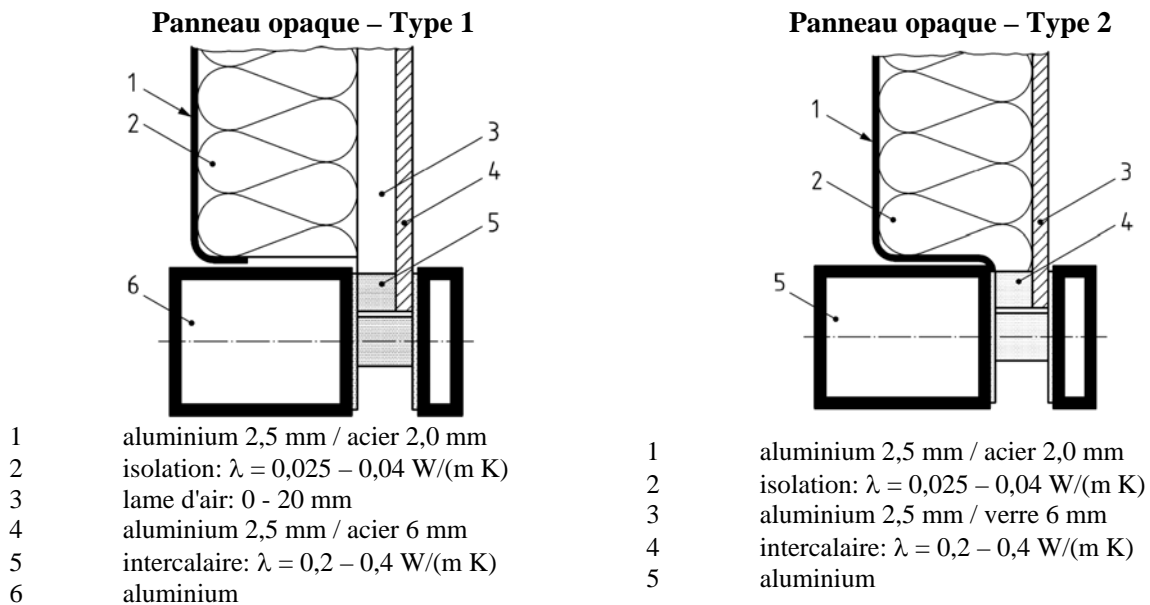


Figure G 3 – Types de panneaux opaques

G.5 Jonction entre profilé d'encadrement et traverse ou meneau

G.5.1 Profilés d'encadrement en aluminium et en acier

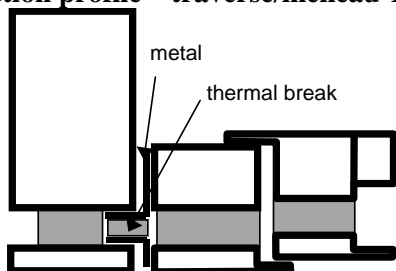
Voir NBN EN 13947 (Annexe B – Tableau B6)

En l'absence d'informations (mesurées ou calculées), on peut emprunter le coefficient de transmission thermique linéique ($\Psi_{m,f}$ ou $\Psi_{t,f}$) des jonctions entre profilés d'encadrement et traverses ou meneaux au Tableau G 4.

Type	Description de la jonction entre profilé d'encadrement et traverse/meneau	Valeur $\Psi_{m,f}$ ou $\Psi_{t,f}$ (W/mK)
Type A	Profilé d'encadrement métallique supplémentaire avec coupure thermique	0,11
Type B	Profilé d'encadrement supplémentaire à faible conductivité thermique ($\lambda \leq 0,3$ W/mK)	0,05
Type C1/C2	Intégré, avec utilisation de la coupure thermique du profilé d'encadrement	0,07
Type D	Montage du profilé d'encadrement sur la traverse ou meneau, avec extension du profilé d'encadrement extérieur en aluminium. Matériau opaque à faible conductivité thermique ($\lambda \leq 0,3$ W/mK)	0,07

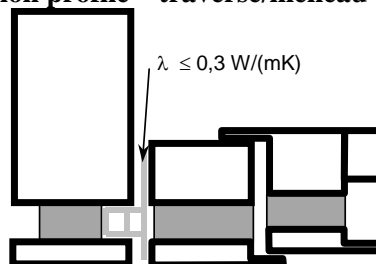
Tableau G 3 - Valeurs $\Psi_{m,f}$ et $\Psi_{t,f}$ pour les jonctions entre profilé d'encadrement – traverse/meneau (en aluminium ou acier)

Jonction profilé – traverse/meneau Type A



Montage du profilé d'encadrement sur la traverse avec un profilé d'encadrement métallique supplémentaire avec coupure thermique

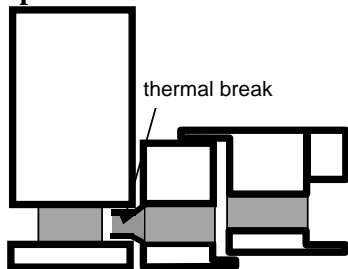
Jonction profilé – traverse/meneau Type B



Montage du profilé d'encadrement sur la traverse avec un profilé d'encadrement supplémentaire à faible conductivité thermique

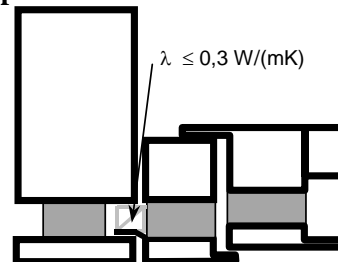
Figure G 4 – Jonction profilé d'encadrement – traverse/meneau (Type A et Type B)

Jonction profilé – traverse/meneau Type C1



Montage du profilé d'encadrement sur la traverse par usage d'une extension de la coupure thermique du profilé d'encadrement

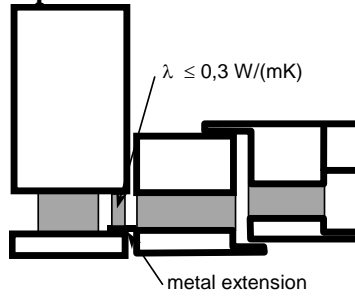
Jonction profilé – traverse/meneau Type C2



Montage du profilé d'encadrement sur la traverse par usage d'une extension de la coupure thermique du profilé d'encadrement

Figure G 5 – Jonction profilé d'encadrement – traverse/meneau (Type C1 et Type C2)

Jonction profilé – traverse/meneau Type D



Montage du profilé d’encadrement sur la traverse par usage d’une extension du profilé d’encadrement extérieur en aluminium. Matériau de remplissage à faible conductivité thermique ($\lambda \leq 0,3 \text{ W/mK}$)

Figure G 6 – Jonction profilé d’encadrement – traverse/meneau (Type D)

G.5.2 Profils d’encadrement en bois et profils d’encadrement en bois/aluminium

Voir NBN EN 13947 (Annexe B – Tableau B7)

En l’absence d’informations (mesurées ou calculées), on peut emprunter le coefficient de transmission thermique linéique ($\Psi_{f,m}$ ou $\Psi_{f,t}$) des jonctions entre profils d’encadrement et traverses/meneaux au Tableau G 5.

Type	Conditions pour les valeurs U des traverses et meneaux (U_m et U_t)	Valeur $\Psi_{m,f}$ ou $\Psi_{t,f}$ (W/mK)
Type A	$U_m > 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ou $U_t > 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,02
Type B	$U_m \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ou $U_t \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,04

Tableau G 4 - Valeurs $\Psi_{m,f}$ et $\Psi_{t,f}$ pour les jonctions entre profils d’encadrement et traverses/meneaux (en bois ou aluminium/bois)

Jonction profilés d’encadrement – traverses/meneaux Type A et Type B

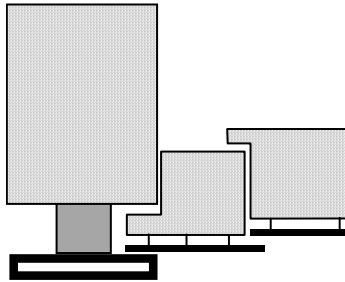


Figure G 7 – Jonction profilés d’encadrement – traverses/meneaux (Type A et Type B)

G.6 Calcul de U_f pour des profilés d'encadrement intégrés dans une façade légère

Voir NBN EN 13947 (Annexe B – Tableau B9)

Le calcul de la valeur U_f des profilés d'encadrement intégrés dans une façade légère au moyen d'un profilé d'encadrement supplémentaire dans la façade (Type A et Type B – voir Figure G 4) s'effectue suivant NBN EN ISO 10077-2. Le flux thermique au travers du profilé d'encadrement supplémentaire est pris en compte par les coefficients de transmission thermique linéique des traverses et des meneaux (valeurs $\Psi_{m,f}$ et $\Psi_{t,f}$), qui décrivent l'interaction thermique entre les traverses/meneaux et le profilé d'encadrement.

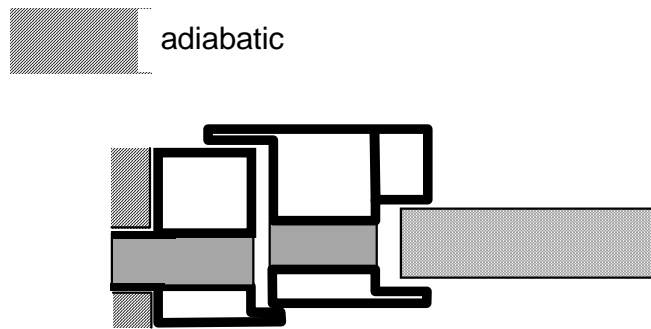


Figure G 8 – Conditions de bord pour le calcul de la valeur U_f d'un encadrement, directement intégré dans une façade légère (profilé d'encadrement métallique – Type C et Type D)

La procédure générale de calcul servant à déterminer la valeur U_f des profilés d'encadrement directement intégrés dans une façade légère (Type C et Type D – voir Figure G 5 et Figure G 6), est décrite dans la norme NBN EN ISO 10077-2. La surface du profilé d'encadrement intégré dans les traverses doit être considérée comme adiabatique lors du calcul (voir Figure G 8). Le flux thermique supplémentaire résultant de l'intégration dans la façade légère est comptabilisé grâce aux coefficients de transmission thermique linéique des traverses horizontales et verticales (valeurs $\Psi_{m,f}$ et $\Psi_{t,f}$), qui représentent l'interaction thermique entre les traverses et le profilé d'encadrement.

ANNEXE H

Ponts thermiques. Valeurs simplifiées pour les coefficients de transmission thermique linéiques.

H.1 Introduction

Les valeurs simplifiées de Ψ sont données au Tableau H 2 pour les cas les plus courants de ponts thermiques.

On peut utiliser ces valeurs si l'on ne connaît pas la valeur Ψ réelle du pont thermique concerné (par exemple si on ne dispose d'aucun détail de l'élément de bâtiment) et dans la mesure où une valeur simplifiée correspond au degré de précision demandé pour le calcul de la transmission thermique.

La Figure H 1 présente les emplacements typiques où se présentent la plupart des ponts thermiques dans l'enveloppe du bâtiment. Les lettres capitales R (toiture), B (balcon), C (angle), IF (étage intermédiaire), IW (mur intérieur), GF (plancher inférieur), P (poutre) et W (fenêtre) renvoient, à la Figure H 1, à l'élément de construction où apparaît le pont thermique, tandis que l'indice se réfère au type de pont thermique. Ainsi peut-on observer trois types de ponts thermiques autour d'une fenêtre (fermeture de la lame d'air, seuil et linteau). Le Tableau H 2 reprend des valeurs Ψ simplifiées correspondant à chacun des types de ponts thermiques de la Figure H 1.

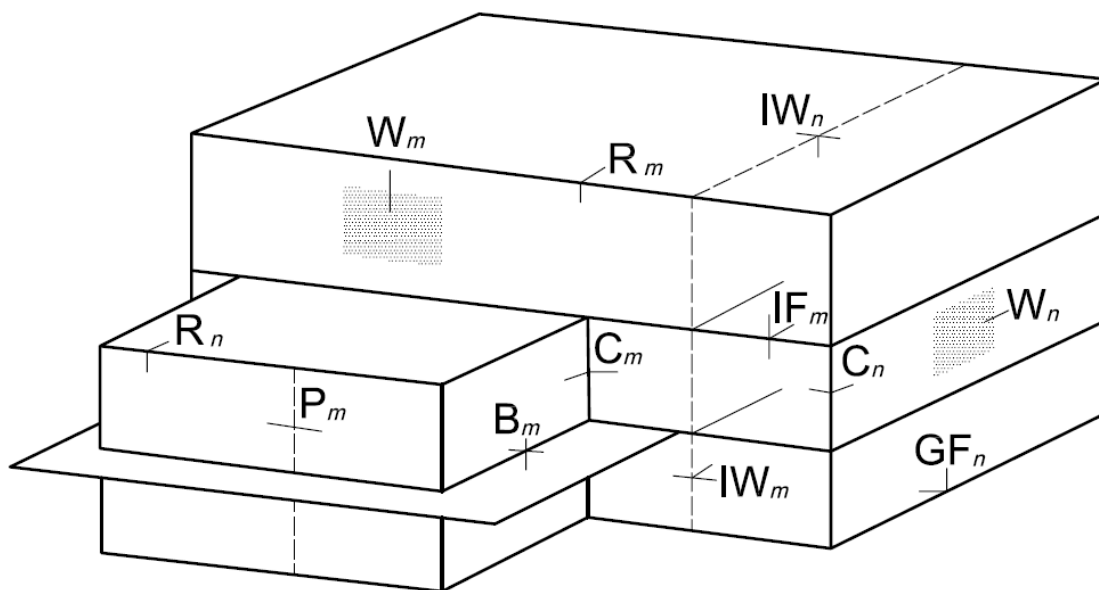


Figure H 1 – Emplacement des ponts thermiques habituels dans les bâtiments

H.2 Tableaux de valeurs Ψ simplifiées

Le Tableau H 2 classe les différents ponts thermiques selon la subdivision type de la Figure H 1. Quatre emplacements possibles de la principale couche d'isolation (celle qui présente la plus grande résistance thermique) sont indiqués pour chaque détail. Cette couche d'isolation peut être située sur la face extérieure du détail de construction concerné, sur sa face intérieure ou dans le détail proprement dit. Le quatrième cas concerne toujours un détail de construction de type léger, comme une paroi à ossature bois.

NBN B 62-002 (2008)

Le Tableau H 2 donne les informations suivantes pour chacun des cas:

- une représentation schématique du détail de construction et de l'emplacement de la principale couche d'isolation ;
- la valeur Ψ (arrondie à 0,05 W/mK), pour le système de dimensions extérieures (Ψ_e) et le système de dimensions intérieures (Ψ_i), tel que décrit dans la norme NBN EN ISO 13789.

Les valeurs tabulées du Tableau H 2 ont été calculées sur la base des données d'entrée du Tableau H 1.






Pour tous les détails:	$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ et $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Pour les parois extérieures:	$d = 300 \text{ mm}$
Pour les parois intérieures:	$d = 200 \text{ mm}$
Pour les parois isolées: <ul style="list-style-type: none">• Valeur U• résistance thermique couche d'isolation	$U = 0,343 \text{ W/m}^2\text{K}$ $R = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
Pour les cloisons légères	$U = 0,375 \text{ W/m}^2\text{K}$
Pour les planchers inférieurs: <ul style="list-style-type: none">○ dalle de plancher et valeur λ du sol○ résistance thermique couche d'isolation	$d = 200 \text{ mm}$ et $\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$ $R = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
Pour les planchers/plafonds intermédiaires:	$d = 200 \text{ mm}$ et $\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$
Pour les toits: <ul style="list-style-type: none">○ valeur U○ résistance thermique couche d'isolation	$U = 0,365 \text{ W/m}^2\text{K}$ $R = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
Pour les profilés d'encadrement dans les fenêtres:	$d = 60 \text{ mm}$
Pour les colonnes:	$d = 300 \text{ mm}$ et $\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$

Tableau H 1 – Paramètres utilisés dans le calcul de Ψ au Tableau H 2

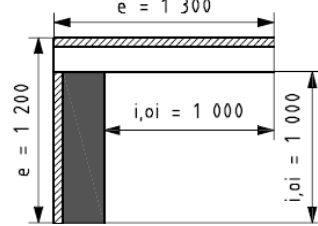
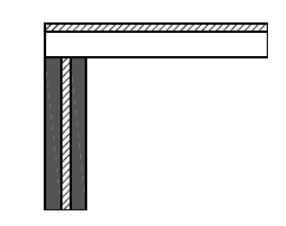
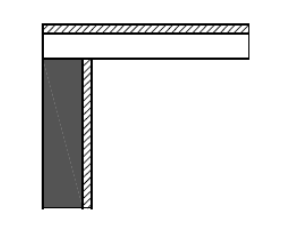
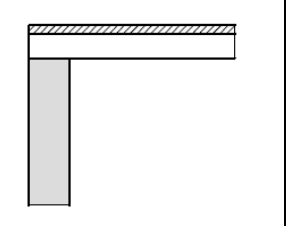
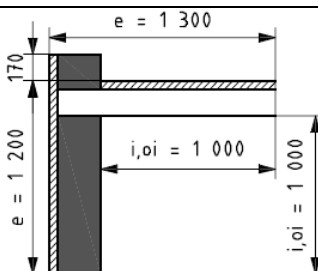
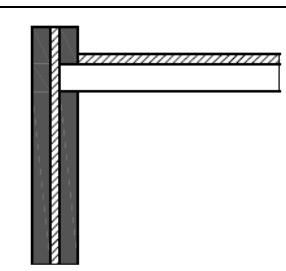
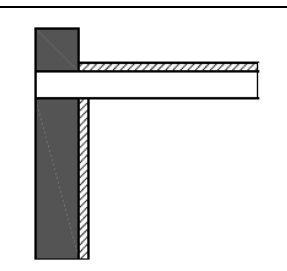
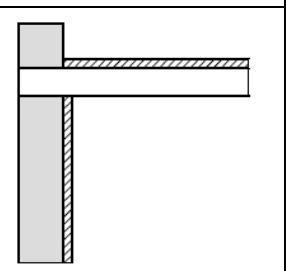
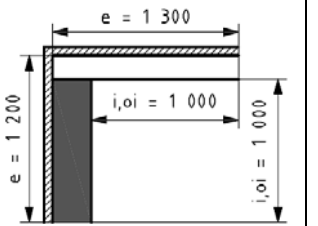
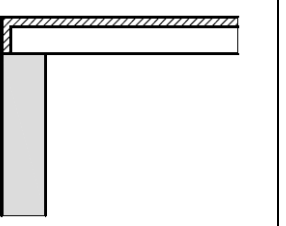
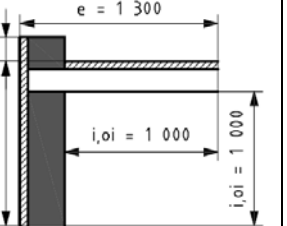
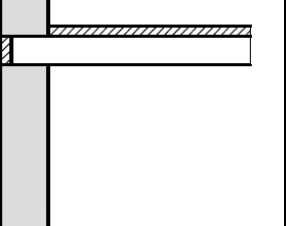
NOTE 1 Les valeurs Ψ simplifiées ont été calculées selon l'expression (53) (voir 12.3.2.2), sur la base de la méthode de calcul bidimensionnelle de NBN EN ISO 10211.

NOTE 2 Les valeurs Ψ obtenues sur la base des données du Tableau H 1 représentent environ la déperdition thermique supplémentaire maximale résultant de l'action des ponts thermiques et peuvent, de ce fait, être utilisées comme des valeurs sûres.

Tableau H 2 – Valeurs Ψ par défaut

Légende des matériaux utilisés				
				
paroi/mur	dalle de plancher	cloison	couche d'isolation	encadrement

Les valeurs par défaut de Ψ sont des valeurs qui approchent l'effet maximal de pont thermique des cas rencontrés dans la pratique, c.-à-d. qu'elles ne sous-estiment pas le transfert de chaleur à travers le pont thermique.

RIVES DE TOITURE							
R1		R2		R3		R4	
							
$\Psi_e = 0,55$	$\Psi_i = 0,75$	$\Psi_e = 0,50$	$\Psi_i = 0,75$	$\Psi_e = 0,40$	$\Psi_i = 0,75$	$\Psi_e = 0,40$	$\Psi_i = 0,65$
R5		R6		R7		R8	
							
$\Psi_e = 0,60$	$\Psi_i = 0,80$	$\Psi_e = 0,50$	$\Psi_i = 0,70$	$\Psi_e = 0,65$	$\Psi_i = 0,85$	$\Psi_e = 0,45$	$\Psi_i = 0,70$
R9		R10		R11		R12	
							
$\Psi_e = -0,05$	$\Psi_i = 0,15$	$\Psi_e = 0,00$	$\Psi_i = 0,20$	$\Psi_e = 0,05$	$\Psi_i = 0,25$	$\Psi_e = 0,15$	$\Psi_i = 0,40$






Légende des matériaux utilisés				
paroi/mur	dalle de plancher	cloison	couche d'isolation	encadrement

Les valeurs par défaut de Ψ sont des valeurs qui approchent l'effet maximal de pont thermique des cas rencontrés dans la pratique, c.-à-d. qu'elles ne sous-estiment pas le transfert de chaleur à travers le pont thermique.

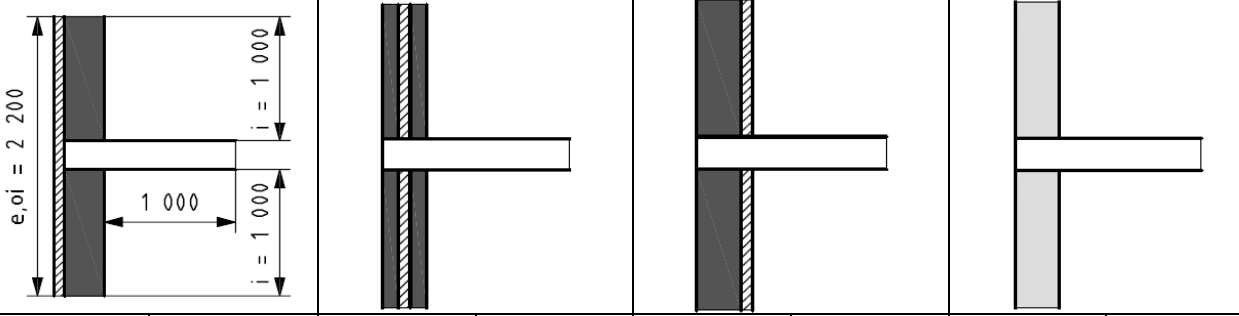
SAILLIE DE TERRASSE							
B1		B2		B3		B4	
$\Psi_e = 0,95$	$\Psi_i = 1,05$	$\Psi_e = 0,95$	$\Psi_i = 1,05$	$\Psi_e = 0,90$	$\Psi_i = 1,00$	$\Psi_e = 0,70$	$\Psi_i = 0,80$

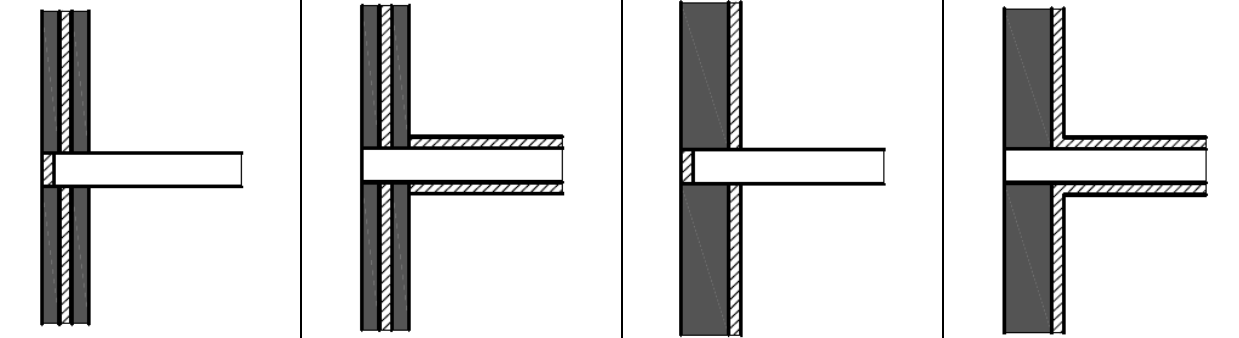
ANGLES (figures : e = extérieur; i = intérieur)							
C1		C2		C3		C4	
$\Psi_e = -0,05$	$\Psi_i = 0,15$	$\Psi_e = -0,10$	$\Psi_i = 0,10$	$\Psi_e = -0,20$	$\Psi_i = 0,05$	$\Psi_e = -0,15$	$\Psi_i = 0,10$

C5		C6		C7		C8	
$\Psi_e = 0,05$	$\Psi_i = -0,15$	$\Psi_e = 0,15$	$\Psi_i = -0,10$	$\Psi_e = 0,15$	$\Psi_i = -0,05$	$\Psi_e = 0,10$	$\Psi_i = -0,10$

Légende des matériaux utilisés				
				
paroi/mur	dalle de plancher	cloison	couche d'isolation	encadrement

Les valeurs par défaut de Ψ sont des valeurs qui approchent l'effet maximal de pont thermique des cas rencontrés dans la pratique, c.-à-d. qu'elles ne sous-estiment pas le transfert de chaleur à travers le pont thermique.

PLANCHERS INTERMEDIAIRES							
IF1		IF2		IF3		IF4	
							
$\Psi_e = 0,00$	$\Psi_i = 0,10$	$\Psi_e = 0,95$	$\Psi_i = 1,05$	$\Psi_e = 0,90$	$\Psi_i = 1,00$	$\Psi_e = 0,70$	$\Psi_i = 0,80$






IF5		IF6		IF7		IF8	
							
$\Psi_e = 0,60$	$\Psi_i = 0,65$	$\Psi_e = 0,90$	$\Psi_i = 1,00$	$\Psi_e = 0,70$	$\Psi_i = 0,80$	$\Psi_e = 0,45$	$\Psi_i = 0,60$

Légende des matériaux utilisés				
paroi/mur	dalle de plancher	cloison	couche d'isolation	encadrement
Les valeurs par défaut de Ψ sont des valeurs qui approchent l'effet maximal de pont thermique des cas rencontrés dans la pratique, c.-à-d. qu'elles ne sous-estiment pas le transfert de chaleur à travers le pont thermique.				

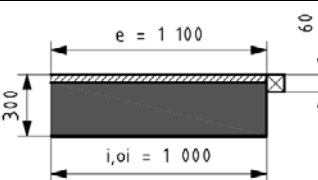
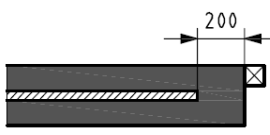
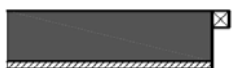


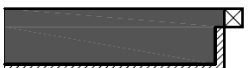
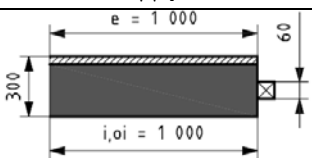
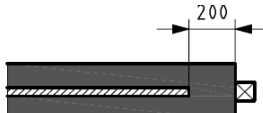
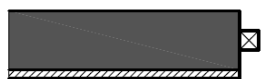

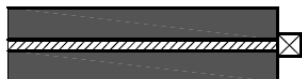

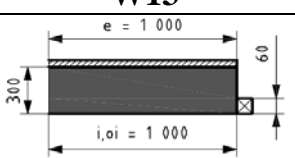
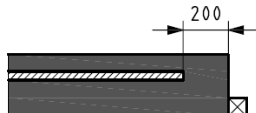
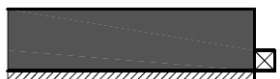


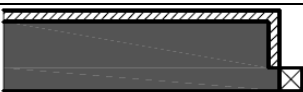
RACCORDEMENT PAROI INTERIEURE							
IW1		IW2		IW3		IW4	
$\Psi_e = 0,00$	$\Psi_i = 0,10$	$\Psi_e = 0,95$	$\Psi_i = 1,05$	$\Psi_e = 0,90$	$\Psi_i = 1,00$	$\Psi_e = 0,00$	$\Psi_i = 0,20$

IW5		IW6	
$\Psi_e = 0,00$	$\Psi_i = 0,10$	$\Psi_e = 0,00$	$\Psi_i = 0,10$

POUTRES (figures : e = extérieur; i = intérieur)							
P1		P2		P3		P4	
$\Psi_e = 1,30$	$\Psi_i = 1,30$	$\Psi_e = 1,20$	$\Psi_i = 1,20$	$\Psi_e = 1,15$	$\Psi_i = 1,15$	$\Psi_e = 0,90$	$\Psi_i = 0,90$

Légende des matériaux utilisés				
				
paroi/mur	dalle de plancher	cloison	couche d'isolation	encadrement

Les valeurs par défaut de Ψ sont des valeurs qui approchent l'effet maximal de pont thermique des cas rencontrés dans la pratique, c.-à-d. qu'elles ne sous-estiment pas le transfert de chaleur à travers le pont thermique.

RACCORDEMENT de FENETRE et de PORTE (figures : e = extérieur; i = intérieur)							
W1		W2		W3		W4	
							
$\Psi_e = 0,00$	$\Psi_i = 0,00$	$\Psi_e = 1,00$	$\Psi_i = 1,00$	$\Psi_e = 0,80$	$\Psi_i = 0,80$	$\Psi_e = 0,15$	$\Psi_i = 0,15$
W5		W6		W7		W8	
							
$\Psi_e = 0,40$	$\Psi_i = 0,40$	$\Psi_e = 0,10$	$\Psi_i = 0,10$	$\Psi_e = 0,45$	$\Psi_i = 0,45$	$\Psi_e = 1,00$	$\Psi_i = 1,00$
W9		W10		W11		W12	
							
$\Psi_e = 0,60$	$\Psi_i = 0,60$	$\Psi_e = 0,10$	$\Psi_i = 0,10$	$\Psi_e = 0,00$	$\Psi_i = 0,00$	$\Psi_e = 0,10$	$\Psi_i = 0,10$
W13		W14		W15		W16	
							
$\Psi_e = 0,80$	$\Psi_i = 0,80$	$\Psi_e = 1,00$	$\Psi_i = 1,00$	$\Psi_e = 0,00$	$\Psi_i = 0,00$	$\Psi_e = 0,15$	$\Psi_i = 0,15$
W17				W18			
							
$\Psi_e = 0,40$		$\Psi_i = 0,40$		$\Psi_e = 0,20$		$\Psi_i = 0,20$	

H.3 Exemple de calcul élaboré (système avec dimensions extérieures)

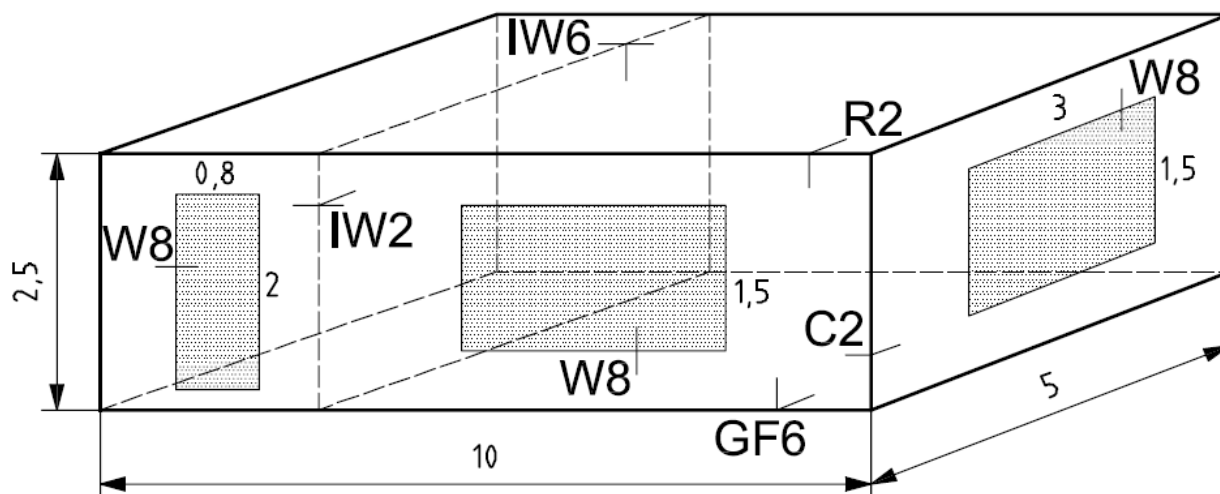


Figure H 2 – Vue schématique du bâtiment avec indication des dimensions intérieures et localisation des ponts thermiques.

La Figure H 2 présente la vue schématique d'un bâtiment très simple (dimensions intérieures totales : 10 x 5 x 2,5 m) comptant un seul étage, un toit plat, un plancher sur terre-plein, deux fenêtres et une porte dans les parois extérieures et une seule paroi intérieure. L'emplacement des ponts thermiques est également indiqué sur la figure et la dénomination correspond aux notations de la Figure H 1.

L'épaisseur du mur extérieur est supposée égale à 0,3 m et celle du toit et du plancher est de 0,2 m. Les dimensions extérieures du bâtiment sont donc de: 10,6 x 5,6 x 3,0 m.

Élément de bâtiment	U (W/m²K)	A (m²)	U.A (W/K)
Mur	0,40	86,60	34,64
Toit	0,30	59,36	17,81
Plancher	0,35	59,36	20,78
Fenêtres	3,50	9,00	31,50
Porte	3,00	1,60	4,80
Total : $\sum_i A_i \cdot U_i =$			109,52

Tableau H 3 – Déperditions thermiques par transmission à travers les parois de l'enveloppe du bâtiment

Pont thermique	Type	Ψ_e (W/mK)	l_e (m)	$\Psi_e \cdot l_e$ (W/K)
Mur extérieur/toit	R2	0,50	32,40	16,20
Mur extérieur/mur extérieur	C2	-0,10	12,00	-1,20
Mur extérieur/plancher	GF6	0,45	32,4	14,58
Mur extérieur/mur intérieur	IW2	0,95	6,00	5,70
Mur intérieur/toit	IW6	0,00	5,60	0,00
Linteau/seuil/lame d'air	W8	1,00	23,60	23,60
Total : $\sum_k l_k \cdot \Psi_k =$				58,88

Tableau H 4 – Déperditions thermiques par transmission par les ponts thermiques de l'enveloppe du bâtiment

Les déperditions par transmission ($\sum_i A_i \cdot U_i$) à travers les éléments de construction plans sont résumées au Tableau H 3, tandis que les déperditions par les ponts thermiques sont données au Tableau H 4.

Le coefficient de transmission thermique (H_D) est donné par :

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \Psi_k = 109,52 + 58,88 = 168,40 \text{ W/K}$$

ANNEXE I

Transmission thermique par les parois en contact avec le sol ou les espaces adjacents non chauffés partiellement ou totalement renfermés par le sol.

Procédures de calcul suivant NBN EN ISO 13370.

I.1 Aperçu général des procédures de calcul existantes

Le chapitre 16 donne des méthodes de calcul détaillées selon la norme NBN EN ISO 13370 pour :

- la détermination de la valeur U (en W/m^2K) des parois en contact direct (planchers sur terre-plein, parois enterrées) ou indirect (planchers au-dessus de caves ou de vides sanitaires) avec le sol ;
- la détermination du transfert de chaleur en régime stationnaire (H_g en W/K) qui traverse ces parois vers l'environnement extérieur via le sol ;

La détermination de la **valeur U** des parois en contact avec le sol est calculée séparément pour les différents parois types en fonction de l'isolation thermique et de la dimension caractéristique du plancher inférieur. La valeur U est calculée pour l'ensemble de la surface au sol du bâtiment en contact avec le sol. Les valeurs U ainsi calculées permettent de calculer le transfert de chaleur stationnaire selon les formules données en 16.

La détermination du **transfert de chaleur stationnaire** peut se faire avec précision à l'aide d'une méthode de calcul numérique tridimensionnel ou bidimensionnel (NBN EN ISO 10211) où l'influence des ponts thermiques présents (raccordement du plancher au mur et/ou à la fondation) est comprise directement dans la déperdition thermique calculée. NBN EN ISO 13370 donne, pour tous les types de parois en contact avec le sol, les formules à utiliser pour déterminer la déperdition thermique stationnaire H_g (W/K), y compris l'effet du pont thermique présent (Ψ_g), selon $H_g = A.U + P.\Psi_g$.

La valeur Ψ_g peut être déterminée avec précision selon la méthode de calcul numérique citée ou de manière simplifiée selon les valeurs tabulées de NBN EN ISO 14683. Quelques formules spécifiques sont toutefois données pour les planchers sur terre-plein, afin de déterminer Ψ_g dans le cas d'une isolation périphérique horizontale et/ou verticale, mais ces valeurs Ψ_g ne peuvent cependant pas être utilisées en plus de valeurs Ψ_g numériques ou tabulées.

I.2 Caractéristiques thermiques du sol

Si l'on connaît le type de sol, on utilisera la valeur de conductivité suivante:

- argile ou limon: $\lambda = 1,5 W/m\cdot K$
- sable ou gravier: $\lambda = 2,0 W/m\cdot K$
- fond rocheux: $\lambda = 3,5 W/m\cdot K$

Si l'on ne connaît pas le type de sol: on prend $\lambda = 2,0 W/m\cdot K$. (sable ou gravier).

Pour toute information supplémentaire: voir l'annexe G de NBN EN ISO 13370

I.3 Incidence de l'eau souterraine

I.3.1 Généralités (NBN EN ISO 13370 - § 7.4)

La nappe phréatique a une incidence négligeable sur la déperdition thermique par le sol, sauf si elle se trouve à une faible profondeur sous la surface du sol et que son écoulement est important. Mais ces conditions se rencontrent rarement, de telle sorte que, dans la plupart des cas, il ne faut pas tenir compte de l'incidence de l'eau souterraine. Si l'on connaît la profondeur de la nappe phréatique et son écoulement, on tiendra toutefois compte de son incidence en appliquant le facteur de correction G_w (voir I.3.2) :

- pour les planchers sur terre-plein et les parois de cave enterrées (murs et planchers): on applique G_w à la déperdition thermique calculée en régime stationnaire (H_g) ;
- pour les planchers au-dessus de vides sanitaires et les planchers au-dessus de caves non chauffées: dans le calcul on applique G_w sur la valeur U des parois des vides sanitaires ou des caves qui sont en contact direct avec le sol.

I.3.2 Facteur de correction G_w (NBN EN ISO 13370 – Annexe H)

z_w/B'	l_c/B'	G_w		
		$d_t/B' = 0,1$	$d_t/B' = 0,5$	$d_t/B' = 1$
0,0	1,0	1,01	1,01	1,00
	0,2	1,16	1,11	1,07
	0,1	1,33	1,20	1,13
	0,0	-	1,74	1,39
0,5	1,0	1,00	1,00	1,00
	0,1	1,06	1,04	1,02
	0,02	1,11	1,07	1,05
	0,0	1,20	1,12	1,08
1,0	0,1	1,05	1,03	1,02
2,0	0,0	1,02	1,01	1,00

Tableau I 1 – Facteur de correction G_w sur les valeurs U d'un sol sur terre-plein et d'un mur ou plancher enterré

Le facteur de correction G_w dépend de la profondeur de la nappe phréatique (z_w) et de la vitesse d'écoulement de l'eau dans le sol (q_w) et est donné au Tableau I 1 en fonction de trois paramètres sans dimension : les rapports d_t/B' , z_w/B' et l_c/B' , où :

- B' (m) : dimension caractéristique du plancher, déterminée selon le § 16.2.4.
- d_t (m) : épaisseur équivalente 'paroi-sol', déterminée selon le § 16.2.5.
- z_w (m) : profondeur de la nappe phréatique (par étude du sol ou de manière simplifiée selon Figure I 1 ou Figure I 2).
- l_c (m) : longueur équivalente qui caractérise la relation entre le flux thermique par conduction au travers du sol et le flux thermique évacué par l'eau souterraine:

$$l_c = \frac{\lambda}{\rho_w \cdot c_w \cdot q_w}$$

où: λ (W/mK) : conductivité thermique du sol (2,0 W/mK) ;

ρ_w (kg/m³) : volume massique de l'eau (999,7 kg/m³ - eau à 10°C) ;

c_w (J/kg.K) : capacité thermique de l'eau (= 4193 J/kg.K – eau à 10°C) ;

q_w (m/s) : vitesse moyenne d'écoulement de l'eau dans le sol selon le Tableau I 2 (attention : valeurs en m/jour à diviser encore par 3600 x 24)

I.3.3 Profondeur de la nappe phréatique

A l'exception de quelques zones, il y a de l'eau souterraine pratiquement partout en Belgique. En effet, la perméabilité de la couche supérieure de terre (le sol) permet à l'eau de pluie de pénétrer dans le sous-sol jusqu'en un lieu où se produit une saturation. La face supérieure de cette zone saturée dans la terre détermine le niveau de la nappe phréatique. Le niveau de cette nappe phréatique se situe à une certaine profondeur sous la surface du sol et cette profondeur peut varier, en moyenne annuelle, entre 1 et 2 mètres selon l'incidence des saisons.

Le niveau de la nappe phréatique dépend de la structure géologique de la terre et du sous-sol et est donc très spécifique au lieu. Cette profondeur ne peut être déterminée avec précision que sur la base d'une observation directe sur place, c.-à-d. en creusant une tranchée ou en effectuant un forage. Les géologues peuvent également déterminer le niveau phréatique avec une précision raisonnable en se basant sur des cartes géologiques, topographiques ou pédologiques. On peut demander des informations détaillées auprès du Service Géologique de Belgique, qui dispose également d'archives des niveaux de nappe phréatique réellement mesurés sur la base de forages.

En règle générale, on peut dire que la présence d'eau souterraine a une influence négligeable sur le transport de chaleur par le sol, sauf si le niveau phréatique se situe près de la surface du sol (à moins de 1 mètre de profondeur). En outre, le débit de la nappe phréatique joue aussi un rôle car si le niveau phréatique est peu profond, ce débit accélère l'évacuation de la chaleur qui s'accumule sous les bâtiments chauffés. En ce qui concerne les déperditions thermiques et énergétiques, il est donc important de connaître les zones où le niveau phréatique est peu profond (et éventuellement le débit de la nappe phréatique).

I.3.4 Détermination de la profondeur du niveau phréatique

La profondeur du niveau phréatique peut être déterminée comme suit:

- **Détermination précise**: observation directe sur place (creusement de tranchée, forage)
- **Détermination simplifiée**:
 - Si la nature du sol sur place est telle que l'eau souterraine a très probablement une profondeur limitée (p. ex. infiltration permanente dans les caves), on tient compte d'un niveau phréatique $z_w = 0$ m
 - Pour les bâtiments situés dans des régions de Belgique où le niveau phréatique est peu profond (voir Figure I 1 et Figure I 2), on tient compte d'un niveau phréatique $z_w = 1$ m.
 - Pour les bâtiments situés dans les autres régions, on peut évaluer la profondeur du niveau phréatique comme suit:

$$z_w = (h_b - h_w)/3 \quad (\text{m})$$
 où:
 - h_b = hauteur du bâtiment au niveau du contact avec le sol (m)
 - h_w = hauteur moyenne du niveau d'eau du cours d'eau permanent le plus proche (m)

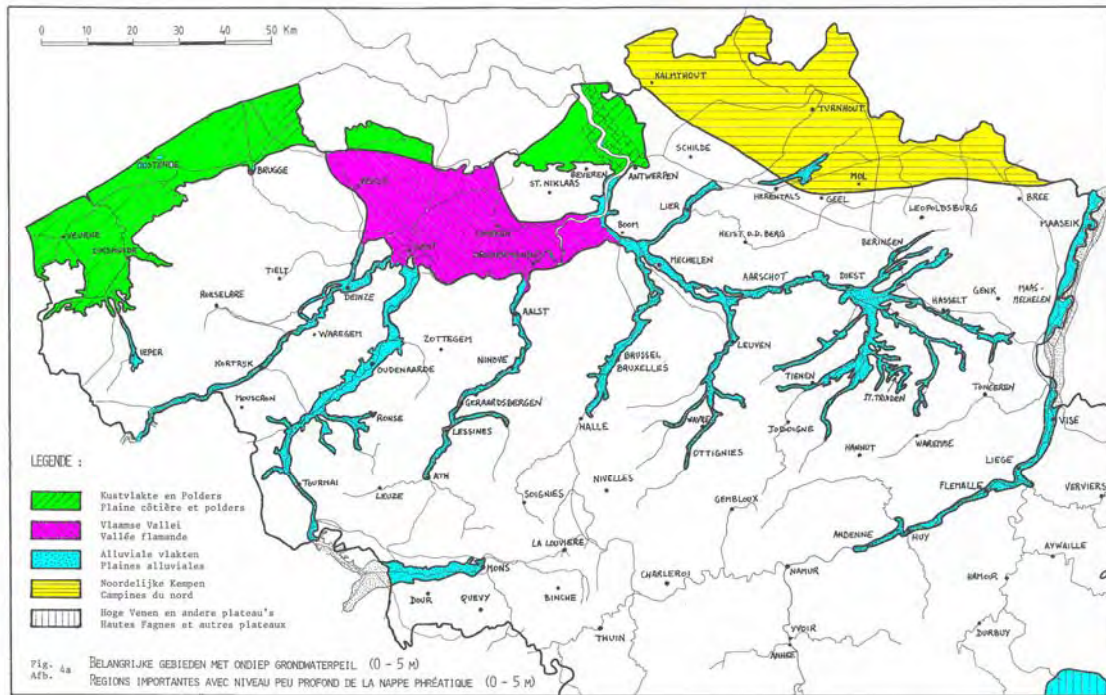


Figure I 1 – Zones à niveau phréatique peu profond ($z_w \leq 5$ m) dans le nord de la Belgique (source : Service Géologique de Belgique)

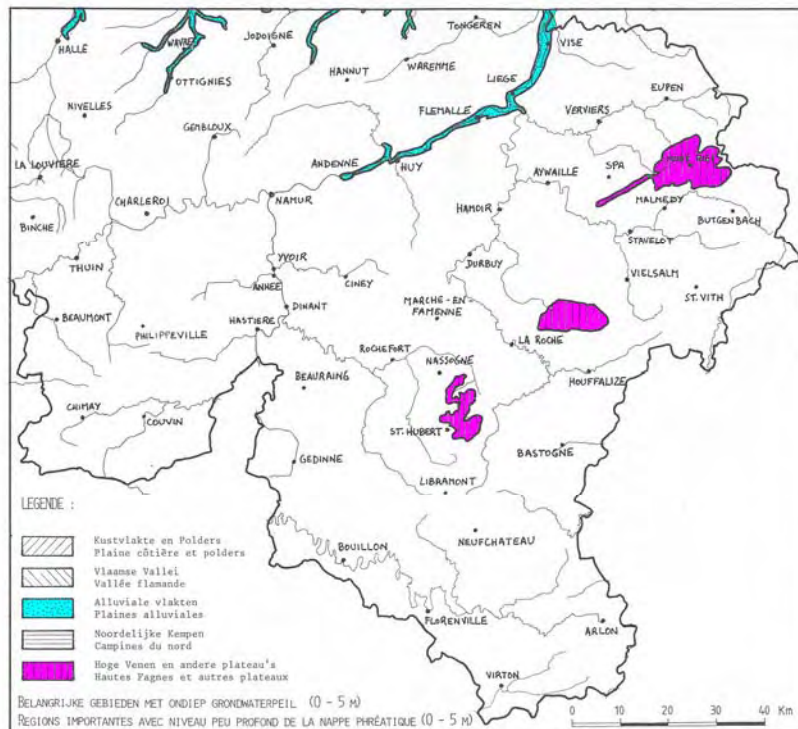


Figure I 2 - Zones à niveau phréatique peu profond ($z_w \leq 5$ m) dans le sud de la Belgique (source : Service Géologique de Belgique)

I.3.5 Vitesse d'écoulement de la nappe phréatique

La vitesse d'écoulement de la nappe phréatique dépend, en premier lieu, de la résistance hydraulique (K, en m/jour) du sol. Cette résistance est d'autant plus grande (et la vitesse de l'eau est donc d'autant plus petite) que la structure granulométrique du sol est fine. Par ailleurs, le gradient hydraulique (I en m/m), ou la pente de la couche de terre imperméable sous la zone de la nappe phréatique, joue aussi un rôle

Zone	Type de sol	Résistance hydraulique. K (m/jour)	Gradient I (m/m)	Vitesse d'écoulement q_w (m/jour)	
				moyenne	maximale
Plaine côtière	Argile molle	10^{-4} à 10^{-9}	0 à 0,0005	0	5×10^{-8}
	Sable modéré à fin	1 à 10^{-4}	0 à 0,0005	0	5×10^{-4}
Polders anversois	Argile marécageuse	1	0 à 0,0005	0	5×10^{-4}
Plateau campinois	Lits de sable	1000 à 1	0,01 à 0,0006	0,01	10
Vaux fluviaux	Sable (+ gravier et limon)	1000 à 1	0,001 à 0,0007	0,05	1
Vallée flamande	Lits de sable	1000 à 1	0,0001 à 0,0075	0,001	7,5
Vallée de la Meuse (N de Liège)	Gravier	1000 à 3370	0,002 à 0,0032	4	11,7
Vallée de la Meuse (S-O de Liège)	Gravier	1000 à 3370	0,004	8	13,5
Hautes Fagnes + plateaux ardennais	Roches massives	-	0	0	0

Tableau I 2 – Vitesses d'écoulement de la nappe phréatique (source: Service géologique de Belgique)

La vitesse d'écoulement de la nappe phréatique (q_w en m/jour) suit la Loi de Darcy, c.-à-d. que :

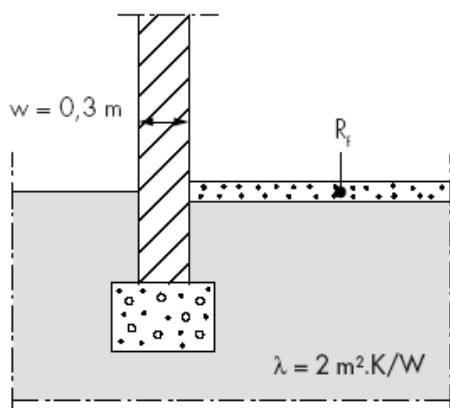
$$q_w = K.I \quad (\text{m/jour})$$

Comme il a été dit plus haut, la connaissance de cette vitesse d'écoulement n'a d'importance que pour les zones où le niveau phréatique est peu profond. Le Tableau I 2 donne, pour ces zones, des informations sur les vitesses d'écoulement moyenne et maximale de la nappe phréatique, lesquelles peuvent être utilisées dans les calculs.

Pour plus d'informations sur l'incidence de l'écoulement de la nappe phréatique: voir l'annexe H de NBN EN ISO 13370.

I.4 Tableaux (première série) de valeurs U précalculées (NBN EN ISO 13370) et de facteurs de réduction précalculés (valeurs U équivalentes)

I.4.1 Plancher sur terre-plein (sans isolation périphérique)



Conditions de bord (validité des tableaux) :

- Sol: $\lambda = 2 \text{ W/mK}$
- Mur extérieur: épaisseur $w = 0,3 \text{ m}$
- Plancher : Valeur R_f variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Isolation périphérique: aucune

Détermination H_g selon EN ISO 13370 (voir 16.3.2) :

$$H_g = A_f \cdot U_f + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

Détermination à l'aide de $U_{f,eq}$ et d'un facteur de réduction (voir 16.3.3) :

$$H_g = A_f \cdot b \cdot U_{f,eq} + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

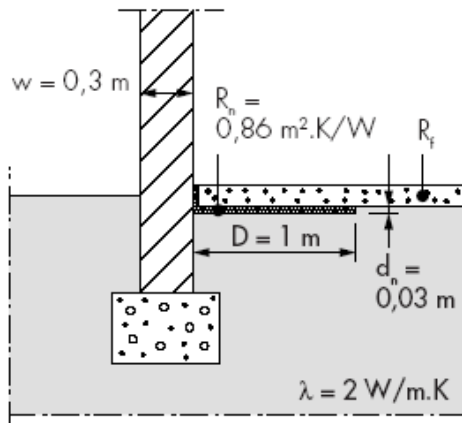
DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,28	0,25	0,22	0,21	0,19	0,17	0,16
0,20	5,00	10,00	0,47	0,40	0,36	0,32	0,30	0,26	0,23
0,30	3,33	6,67	0,63	0,52	0,46	0,40	0,37	0,31	0,26
0,40	2,50	5,00	0,76	0,62	0,53	0,47	0,42	0,34	0,29
0,50	2,00	4,00	0,88	0,70	0,59	0,51	0,45	0,36	0,31
0,60	1,67	3,33	0,98	0,77	0,64	0,55	0,48	0,38	0,32
0,80	1,25	2,50	1,16	0,88	0,72	0,60	0,52	0,41	0,34
1,00	1,00	2,00	1,30	0,97	0,77	0,64	0,55	0,43	0,35
d_f (m) ⇒			0,72	1,22	1,72	2,22	2,72	3,72	4,72

Tableau I 3 – Valeurs U_f (en $\text{W/m}^2\text{K}$) d'un plancher sur terre-plein (sans isolation périphérique)

DETERMINATION DE H_g SUR LA BASE D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,06	0,12	0,16	0,20	0,23	0,29	0,35
0,20	5,00	10,00	0,10	0,18	0,26	0,31	0,36	0,44	0,51
0,30	3,33	6,67	0,13	0,24	0,33	0,38	0,45	0,53	0,57
0,40	2,50	5,00	0,16	0,29	0,38	0,45	0,51	0,58	0,64
0,50	2,00	4,00	0,18	0,32	0,42	0,49	0,54	0,62	0,69
0,60	1,67	3,33	0,21	0,35	0,45	0,53	0,58	0,65	0,71
0,80	1,25	2,50	0,24	0,40	0,51	0,58	0,63	0,70	0,75
1,00	1,00	2,00	0,27	0,45	0,55	0,61	0,67	0,74	0,77
$U_{f,eq}$ ($\text{W/m}^2\text{K}$) ⇒			4,76	2,17	1,41	1,04	0,83	0,58	0,45

Tableau I 4 – Facteur de réduction b (-) pour un plancher sur terre-plein (sans isolation périphérique)

I.4.2 Plancher sur terre-plein (avec isolation périphérique horizontale – 1 m de large – $R_f = 0,86 \text{ m}^2\text{K/W}$)



Conditions de bord (validité des tableaux) :

- Sol: $\lambda = 2 \text{ W/mK}$
- Mur extérieur: épaisseur $w = 0,3 \text{ m}$
- Plancher : Valeur R_f variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Isolation périphérique:
 - largeur: $D = 1 \text{ m}$
 - épaisseur: $d_n = 0,03 \text{ m}$
 - résistance thermique: $R_n = 0,86 \text{ m}^2\text{K/W}$

Détermination H_g selon EN ISO 13370 (voir 16.3.2) :

$$H_g = A_f \cdot U_f + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

Détermination à l'aide de U_{eq} et d'un facteur de réduction (voir 16.3.3) :

$$H_g = A_f \cdot b \cdot U_{f,eq} + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

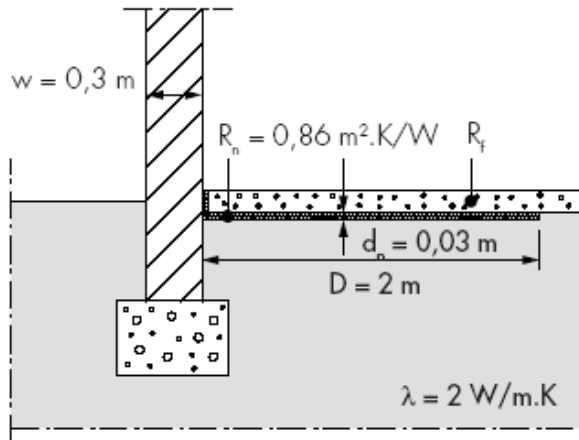
DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,17	0,15
0,20	5,00	10,00	0,41	0,36	0,33	0,30	0,28	0,25	0,22
0,30	3,33	6,67	0,53	0,47	0,42	0,38	0,34	0,29	0,25
0,40	2,50	5,00	0,63	0,54	0,48	0,43	0,39	0,32	0,27
0,50	2,00	4,00	0,71	0,61	0,53	0,47	0,42	0,34	0,29
0,60	1,67	3,33	0,78	0,66	0,57	0,49	0,44	0,36	0,30
0,80	1,25	2,50	0,89	0,73	0,61	0,53	0,46	0,38	0,32
1,00	1,00	2,00	0,97	0,78	0,64	0,55	0,48	0,39	0,33
d_t (m) ⇒			0,72	1,22	1,72	2,22	2,72	3,72	4,72

Tableau I 5 – Valeurs U_f (en $\text{W/m}^2\text{K}$) d'un plancher sur terre-plein avec isolation périphérique horizontale (1m de large)

DETERMINATION DE H_g SUR LA BASE D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,05	0,11	0,15	0,19	0,23	0,29	0,33
0,20	5,00	10,00	0,09	0,17	0,23	0,29	0,34	0,43	0,49
0,30	3,33	6,67	0,11	0,22	0,30	0,36	0,41	0,50	0,55
0,40	2,50	5,00	0,13	0,25	0,34	0,41	0,47	0,55	0,60
0,50	2,00	4,00	0,15	0,28	0,38	0,45	0,51	0,58	0,64
0,60	1,67	3,33	0,16	0,30	0,40	0,47	0,53	0,62	0,66
0,80	1,25	2,50	0,19	0,34	0,43	0,51	0,56	0,65	0,71
1,00	1,00	2,00	0,20	0,36	0,45	0,53	0,58	0,67	0,73
$U_{f,eq}$ ($\text{W/m}^2\text{K}$) ⇒			4,76	2,17	1,41	1,04	0,83	0,58	0,45

Tableau I 6 – Facteur de réduction b (-) pour un plancher sur terre-plein avec isolation périphérique horizontale (1 m de large)

I.4.3 Plancher sur terre-plein (avec isolation périphérique horizontale – 2 m de large – $R_f = 0,86 \text{ m}^2\text{K/W}$)



Conditions de bord (validité des tableaux) :

- Sol: $\lambda = 2 \text{ W/mK}$
- Mur extérieur: épaisseur $w = 0,3 \text{ m}$
- Plancher : Valeur R_f variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Isolation périphérique:
 - largeur: $D = 2 \text{ m}$
 - épaisseur: $d_n = 0,03 \text{ m}$
 - résistance thermique: $R_n = 0,86 \text{ m}^2\text{K/W}$

Détermination H_g selon EN ISO 13370 (voir 16.3.2) :

$$H_g = A_f \cdot U_f + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

Détermination à l'aide de $U_{f,eq}$ et d'un facteur de réduction (voir 16.3.3) :

$$H_g = A_f \cdot b \cdot U_{f,eq} + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

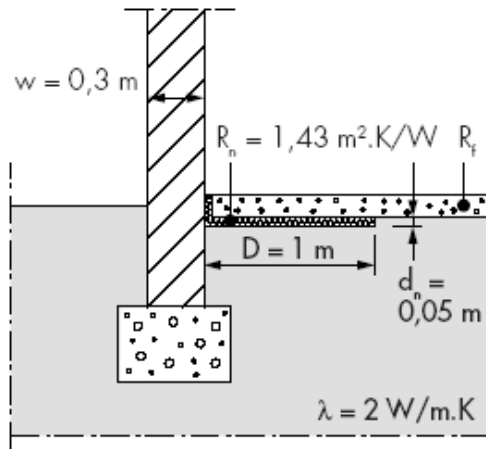
DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,24	0,22	0,20	0,19	0,18	0,17	0,15
0,20	5,00	10,00	0,38	0,35	0,32	0,29	0,27	0,24	0,21
0,30	3,33	6,67	0,49	0,44	0,40	0,36	0,33	0,28	0,25
0,40	2,50	5,00	0,58	0,51	0,45	0,41	0,37	0,31	0,27
0,50	2,00	4,00	0,65	0,56	0,49	0,44	0,40	0,33	0,28
0,60	1,67	3,33	0,70	0,60	0,52	0,46	0,41	0,34	0,29
0,80	1,25	2,50	0,79	0,66	0,56	0,48	0,43	0,35	0,30
1,00	1,00	2,00	0,84	0,68	0,57	0,49	0,44	0,36	0,30
d_t (m) ⇒			0,72	1,22	1,72	2,22	2,72	3,72	4,72

Tableau I 7 – Valeurs U_f (en $\text{W/m}^2\text{K}$) pour un plancher sur terre-plein avec isolation périphérique horizontale (2 m de large)

DETERMINATION DE H_g SUR LA BASE D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,05	0,10	0,14	0,18	0,22	0,29	0,33
0,20	5,00	10,00	0,08	0,16	0,23	0,28	0,33	0,41	0,46
0,30	3,33	6,67	0,10	0,20	0,28	0,35	0,40	0,48	0,55
0,40	2,50	5,00	0,12	0,23	0,32	0,39	0,45	0,53	0,60
0,50	2,00	4,00	0,14	0,26	0,35	0,42	0,48	0,56	0,62
0,60	1,67	3,33	0,15	0,28	0,37	0,44	0,50	0,58	0,64
0,80	1,25	2,50	0,17	0,30	0,40	0,46	0,52	0,60	0,66
1,00	1,00	2,00	0,18	0,31	0,40	0,47	0,53	0,62	0,66
$U_{f,eq}$ ($\text{W/m}^2\text{K}$) ⇒			4,76	2,17	1,41	1,04	0,83	0,58	0,45

Tableau I 8 – Facteur de réduction b (-) pour un plancher sur terre-plein avec isolation périphérique horizontale (2 m de large)

I.4.4 Plancher sur terre-plein (avec isolation périphérique horizontale – 1 m de large – $R_f = 1,43 \text{ m}^2\text{K/W}$)



Conditions de bord (validité des tableaux) :

- Sol: $\lambda = 2 \text{ W/mK}$
- Mur extérieur: épaisseur $w = 0,3 \text{ m}$
- Plancher : Valeur R_f variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Isolation périphérique:
 - largeur: $D = 1 \text{ m}$
 - épaisseur: $d_n = 0,05 \text{ m}$
 - résistance thermique: $R_n = 1,43 \text{ m}^2\text{K/W}$

Détermination H_g selon EN ISO 13370 (voir 16.3.2) :

$$H_g = A_f \cdot U_f + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

Détermination à l'aide de $U_{f,eq}$ et d'un facteur de réduction (voir 16.3.3) :

$$H_g = A_f \cdot b \cdot U_{f,eq} + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

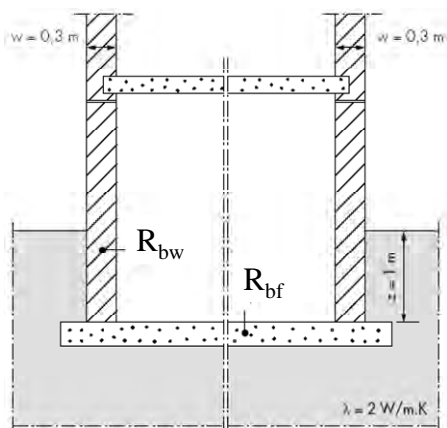
DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	0,15
0,20	5,00	10,00	0,39	0,35	0,32	0,30	0,28	0,24	0,22
0,30	3,33	6,67	0,51	0,45	0,41	0,37	0,34	0,29	0,25
0,40	2,50	5,00	0,60	0,53	0,47	0,42	0,38	0,32	0,27
0,50	2,00	4,00	0,68	0,58	0,51	0,45	0,41	0,33	0,28
0,60	1,67	3,33	0,74	0,63	0,54	0,48	0,42	0,34	0,29
0,80	1,25	2,50	0,84	0,69	0,59	0,50	0,44	0,36	0,31
1,00	1,00	2,00	0,90	0,73	0,60	0,52	0,46	0,37	0,31
d_t (m) ⇒			0,72	1,22	1,72	2,22	2,72	3,72	4,72

Tableau I 9 – Valeurs U_f (en $\text{W/m}^2\text{K}$) pour un plancher sur terre-plein avec isolation périphérique horizontale (1 m de large)

DETERMINATION DE H_g SUR LA BASE D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,05	0,10	0,15	0,19	0,22	0,29	0,33
0,20	5,00	10,00	0,08	0,16	0,23	0,29	0,34	0,41	0,49
0,30	3,33	6,67	0,11	0,21	0,29	0,36	0,41	0,50	0,55
0,40	2,50	5,00	0,13	0,24	0,33	0,40	0,46	0,55	0,60
0,50	2,00	4,00	0,14	0,27	0,36	0,43	0,50	0,56	0,62
0,60	1,67	3,33	0,16	0,29	0,38	0,46	0,51	0,58	0,64
0,80	1,25	2,50	0,18	0,32	0,42	0,48	0,53	0,62	0,69
1,00	1,00	2,00	0,19	0,34	0,43	0,50	0,56	0,63	0,69
$U_{f,eq}$ ($\text{W/m}^2\text{K}$) ⇒			4,76	2,17	1,41	1,04	0,83	0,58	0,45

Tableau I 10 – Facteur de réduction b (-) pour un plancher sur terre-plein avec isolation périphérique horizontale (1 m de large)

I.4.5 Parois enterrées d'espaces chauffés (1 m de profondeur)



Conditions de bord (validité des tableaux) :

- Sol: $\lambda = 2 \text{ W/mK}$
- Mur enterré:
 - épaisseur $w = 0,3 \text{ m}$; profondeur dans sol $z = 1 \text{ m}$
 - résistance thermique R_{bw} variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$ (avec $R_{bf} = 0 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- Plancher enterré : résistance thermique R_{bf} variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$ (avec $R_{bw} = 0 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Détermination H_g selon EN ISO 13370 (voir 16.4.2) :

$$H_g = A_{bf} \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

Détermination à l'aide de U_{eq} et d'un facteur de réduction (voir 16.4.3) :

$$H_g = A_{bf} \cdot b_f \cdot U_{bf,eq} + z \cdot P \cdot b_w \cdot U_{bw,eq} + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370										
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_{bf} ($\text{m}^2\text{K/W}$)							
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	
0,10	10,00	20,00	0,25	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	
0,20	5,00	10,00	0,40	0,36	0,32	0,30	0,27	0,24	0,21	
0,30	3,33	6,67	0,52	0,46	0,40	0,37	0,33	0,28	0,25	
0,40	2,50	5,00	0,62	0,53	0,47	0,42	0,37	0,31	0,27	
0,50	2,00	4,00	0,70	0,59	0,51	0,45	0,40	0,33	0,28	
0,60	1,67	3,33	0,77	0,64	0,55	0,48	0,42	0,35	0,30	
0,80	1,25	2,50	0,88	0,72	0,60	0,52	0,46	0,37	0,31	
1,00	1,00	2,00	0,97	0,77	0,64	0,55	0,48	0,39	0,33	
d_t (m) ⇒			0,72	1,22	1,72	2,22	2,72	3,72	4,72	

Tableau I 11 – Valeurs U_{bf} (en $\text{W/m}^2\text{K}$) d'un plancher enterré à une profondeur $z = 1 \text{ m}$

P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_{bw} ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
(tous les cas)			1,97	1,21	0,86	0,67	0,55	0,40	0,32
d_w (m) ⇒			0,34	0,84	1,34	1,84	2,34	3,34	4,34

Tableau I 12 – Valeurs U_{bw} (en $\text{W/m}^2\text{K}$) d'un mur enterré (profondeur du plancher $z = 1 \text{ m}$)

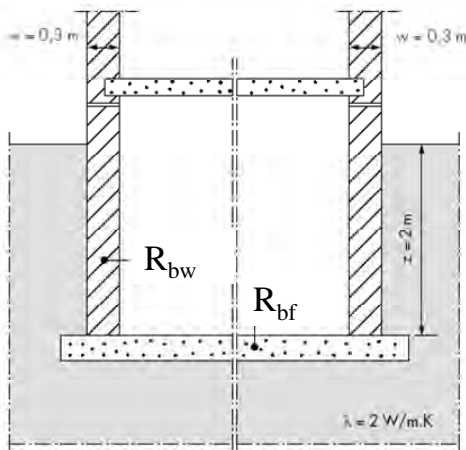
DETERMINATION DE H_g SUR LA BASE D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE										
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_{bf} ($\text{m}^2\text{K/W}$)							
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	
0,10	10,00	20,00	0,05	0,10	0,15	0,18	0,22	0,27	0,33	
0,20	5,00	10,00	0,08	0,17	0,23	0,29	0,33	0,41	0,46	
0,30	3,33	6,67	0,11	0,21	0,28	0,36	0,40	0,48	0,55	
0,40	2,50	5,00	0,13	0,24	0,33	0,40	0,45	0,53	0,60	
0,50	2,00	4,00	0,15	0,27	0,36	0,43	0,48	0,56	0,62	
0,60	1,67	3,33	0,16	0,29	0,39	0,46	0,51	0,60	0,66	
0,80	1,25	2,50	0,18	0,33	0,43	0,50	0,56	0,63	0,69	
1,00	1,00	2,00	0,20	0,35	0,45	0,53	0,58	0,67	0,73	
$U_{bf,eq}$ ($\text{W/m}^2\text{K}$) ⇒			4,76	2,17	1,41	1,04	0,83	0,58	0,45	

Tableau I 13 – Facteur de réduction b_f (-) pour un plancher enterré à une profondeur $z = 1 \text{ m}$

P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_{bw} ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
(tous les cas)			0,33	0,51	0,58	0,62	0,64	0,67	0,69
$U_{bw,eq}$ ($\text{W/m}^2\text{K}$) ⇒			5,88	2,38	1,49	1,09	0,85	0,60	0,46

Tableau I 14 – Facteur de réduction b_w (-) pour un mur enterré (profondeur du plancher $z = 1 \text{ m}$)

I.4.6 Parois enterrées d'espaces chauffés (2 m de profondeur)



Conditions de bord (validité des tableaux) :

- Sol: $\lambda = 2 \text{ W/mK}$
- Mur enterré:
 - épaisseur $w = 0,3 \text{ m}$; profondeur dans sol $z = 2 \text{ m}$
 - résistance thermique R_{bw} variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$ (avec $R_{bf} = 0 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- Plancher enterré : résistance thermique R_{bf} variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$ (avec $R_{bw} = 0 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Détermination H_g selon EN ISO 13370 (voir 16.4.2) :

$$H_g = A_{bf} \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

Détermination à l'aide de U_{eq} et d'un facteur de réduction (voir 16.4.3) :

$$H_g = A_{bf} \cdot b_f \cdot U_{bf,eq} + z \cdot P \cdot b_w \cdot U_{bw,eq} + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_{bf} ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,22	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,14
0,20	5,00	10,00	0,36	0,32	0,30	0,27	0,26	0,23	0,20
0,30	3,33	6,67	0,46	0,40	0,37	0,33	0,31	0,26	0,23
0,40	2,50	5,00	0,53	0,47	0,42	0,37	0,34	0,29	0,25
0,50	2,00	4,00	0,59	0,51	0,45	0,40	0,36	0,31	0,26
0,60	1,67	3,33	0,64	0,55	0,48	0,42	0,38	0,32	0,28
0,80	1,25	2,50	0,72	0,60	0,52	0,46	0,41	0,34	0,29
1,00	1,00	2,00	0,77	0,64	0,55	0,48	0,43	0,35	0,30
d_t (m) ⇒			0,72	1,22	1,72	2,22	2,72	3,72	4,72

Tableau I 15 – Valeurs U_{bf} (en $\text{W/m}^2\text{K}$) d'un plancher enterré avec $z = 2 \text{ m}$

P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_{bw} ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
(tous les cas)			1,32	0,88	0,66	0,53	0,45	0,34	0,27
d_w (m) ⇒			0,34	0,84	1,34	1,84	2,34	3,34	4,34

Tableau I 16 – Valeurs U_{bw} (en $\text{W/m}^2\text{K}$) d'un mur enterré (profondeur du plancher $z = 2 \text{ m}$)

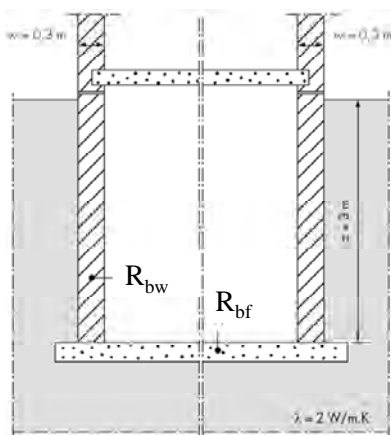
DETERMINATION DE H_g SUR LA BASE D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_{bf} ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,05	0,10	0,13	0,17	0,21	0,27	0,31
0,20	5,00	10,00	0,08	0,15	0,21	0,26	0,31	0,39	0,44
0,30	3,33	6,67	0,10	0,18	0,26	0,32	0,38	0,44	0,51
0,40	2,50	5,00	0,11	0,22	0,30	0,36	0,41	0,50	0,55
0,50	2,00	4,00	0,12	0,23	0,32	0,38	0,44	0,53	0,57
0,60	1,67	3,33	0,13	0,25	0,34	0,40	0,46	0,55	0,62
0,80	1,25	2,50	0,15	0,28	0,37	0,44	0,50	0,58	0,64
1,00	1,00	2,00	0,16	0,29	0,39	0,46	0,52	0,60	0,66
$U_{bf,eq}$ ($\text{W/m}^2\text{K}$) ⇒			4,76	2,17	1,41	1,04	0,83	0,58	0,45

Tableau I 17 – Facteurs de réduction b_f (-) pour un plancher enterré avec $z = 2 \text{ m}$

P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_{bw} ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
(tous les cas)			0,22	0,37	0,44	0,49	0,53	0,57	0,59
$U_{bw,eq}$ ($\text{W/m}^2\text{K}$) ⇒			5,88	2,38	1,49	1,09	0,85	0,60	0,46

Tableau I 18 – Facteurs de réduction b_w (-) pour un mur enterré (profondeur du plancher $z = 2 \text{ m}$)

I.4.7 Parois enterrées d'espaces chauffés (3 m de profondeur)



Conditions de bord (validité des tableaux) :

- Sol: $\lambda = 2 \text{ W/mK}$
- Mur enterré:
 - épaisseur $w = 0,3 \text{ m}$; profondeur dans le sol $z = 3 \text{ m}$
 - résistance thermique R_{bw} variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$ (avec $R_{bf} = 0 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- Plancher enterré : résistance thermique R_{bf} variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$ (avec $R_{bw} = 0 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Détermination H_g selon EN ISO 13370 (voir 16.4.2) :

$$H_g = A_{bf} \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

Détermination avec U_{eq} et facteur de réduction (voir 16.4.3) :

$$H_g = A_{bf} \cdot b_f \cdot U_{bf,eq} + z \cdot P \cdot b_w \cdot U_{bw,eq} + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_{bf} ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14
0,20	5,00	10,00	0,32	0,30	0,27	0,26	0,24	0,21	0,19
0,30	3,33	6,67	0,40	0,37	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22
0,40	2,50	5,00	0,47	0,42	0,37	0,34	0,31	0,27	0,24
0,50	2,00	4,00	0,51	0,45	0,40	0,36	0,33	0,28	0,25
0,60	1,67	3,33	0,55	0,48	0,42	0,38	0,35	0,30	0,26
0,80	1,25	2,50	0,60	0,52	0,46	0,41	0,37	0,31	0,27
1,00	1,00	2,00	0,64	0,55	0,48	0,43	0,39	0,33	0,28
d_t (m) ⇒			0,72	1,22	1,72	2,22	2,72	3,72	4,72

Tableau I 19 – Valeurs U_{bf} d'un plancher enterré avec $z = 3 \text{ m}$

P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_{bw} ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
(tous les cas)			1,02	0,71	0,55	0,45	0,38	0,30	0,24
d_w (m) ⇒			0,34	0,84	1,34	1,84	2,34	3,34	4,34

Tableau I 20 – Valeurs U_{bw} d'un mur enterré (profondeur du plancher $z = 3 \text{ m}$)

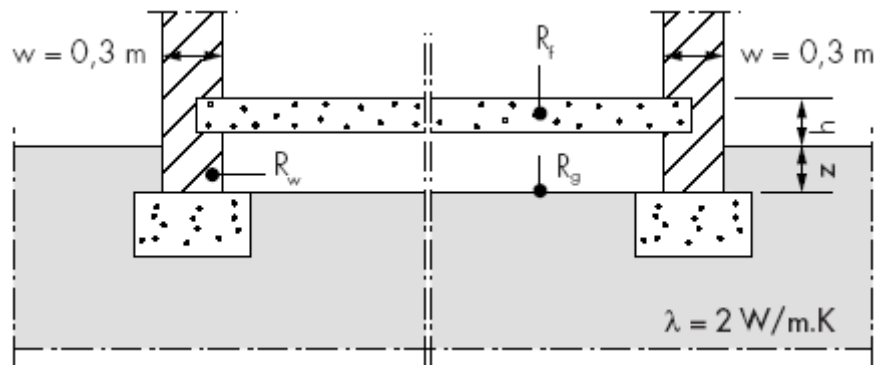
DETERMINATION DE H_g SUR LA BASE D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_{bf} ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,04	0,09	0,13	0,16	0,19	0,26	0,31
0,20	5,00	10,00	0,07	0,14	0,19	0,25	0,29	0,36	0,42
0,30	3,33	6,67	0,08	0,17	0,23	0,30	0,34	0,43	0,49
0,40	2,50	5,00	0,10	0,19	0,26	0,33	0,38	0,46	0,53
0,50	2,00	4,00	0,11	0,21	0,28	0,35	0,40	0,48	0,55
0,60	1,67	3,33	0,12	0,22	0,30	0,36	0,42	0,51	0,57
0,80	1,25	2,50	0,13	0,24	0,33	0,39	0,45	0,53	0,60
1,00	1,00	2,00	0,13	0,25	0,34	0,41	0,47	0,56	0,62
$U_{bf,eq}$ ($\text{W/m}^2\text{K}$) ⇒			4,76	2,17	1,41	1,04	0,83	0,58	0,45

Tableau I 21 – Facteurs de réduction b_f (-) pour un plancher enterré avec $z = 3 \text{ m}$

P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_{bw} ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
(tous les cas)			0,17	0,30	0,37	0,41	0,44	0,50	0,52
$U_{bw,eq}$ ($\text{W/m}^2\text{K}$) ⇒			5,88	2,38	1,49	1,09	0,85	0,60	0,46

Tableau I 22 – Facteurs de réduction b_w (-) pour un mur enterré (profondeur du plancher $z = 3 \text{ m}$)

I.4.8 Plancher au-dessus d'un vide sanitaire non ventilé



Conditions de bord (validité des tableaux) :

Sol: $\lambda = 2 \text{ W/mK}$

Mur de vide sanitaire (non ventilé):

- épaisseur $w = 0,3 \text{ m}$; hauteur au-dessus du niveau du sol $h = 0,50 \text{ m}$; profondeur dans le sol $z = 0,50 \text{ m}$ (hauteur libre vide = $0,80 \text{ m}$)
- résistance thermique $R_w = 0,2 \text{ m}^2\text{K/W}$
- $U_w = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ (au-dessus du niveau du sol)

Plancher : Valeur R_f variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$

Plancher du vide sanitaire: non isolé ($R_g = 0$)

Détermination H_g selon EN ISO 13370 (voir 16.5.2) :

$$H_g = A_f \cdot U + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

Détermination à l'aide de U_{eq} et d'un facteur de réduction (voir 16.5.3) :

$$H_g = A_f \cdot b \cdot U_{eq} + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

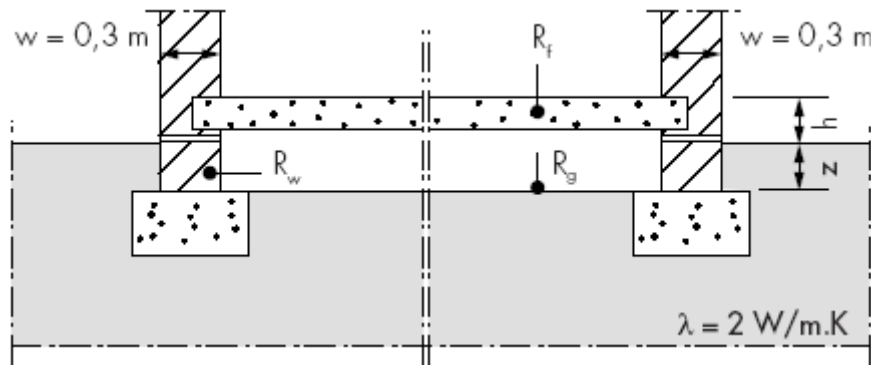
DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,37	0,33	0,31	0,29	0,27	0,24	0,21
0,20	5,00	10,00	0,59	0,52	0,46	0,41	0,37	0,31	0,27
0,30	3,33	6,67	0,76	0,64	0,55	0,49	0,43	0,36	0,30
0,40	2,50	5,00	0,90	0,74	0,62	0,54	0,47	0,38	0,32
0,50	2,00	4,00	1,02	0,81	0,67	0,58	0,50	0,40	0,34
0,60	1,67	3,33	1,11	0,87	0,72	0,61	0,53	0,42	0,35
0,80	1,25	2,50	1,27	0,96	0,78	0,65	0,56	0,44	0,36
1,00	1,00	2,00	1,39	1,03	0,82	0,68	0,58	0,45	0,37
d_g (m) ⇒			0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72

Tableau I 23 – Valeurs U (en $\text{W/m}^2\text{K}$) d'un plancher au-dessus d'un vide sanitaire non ventilé

DETERMINATION DE H_g SUR LA BASE D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,08	0,15	0,22	0,28	0,33	0,41	0,46
0,20	5,00	10,00	0,12	0,24	0,33	0,39	0,45	0,53	0,60
0,30	3,33	6,67	0,16	0,29	0,39	0,47	0,52	0,62	0,66
0,40	2,50	5,00	0,19	0,34	0,44	0,52	0,57	0,65	0,71
0,50	2,00	4,00	0,21	0,37	0,48	0,56	0,61	0,68	0,75
0,60	1,67	3,33	0,23	0,40	0,51	0,59	0,64	0,72	0,77
0,80	1,25	2,50	0,27	0,44	0,55	0,62	0,68	0,75	0,80
1,00	1,00	2,00	0,29	0,47	0,58	0,65	0,70	0,77	0,82
U_{eq} ($\text{W/m}^2\text{K}$) ⇒			4,76	2,17	1,41	1,04	0,83	0,58	0,45

Tableau I 24 – Facteurs de réduction b (-) pour un plancher au-dessus d'un vide sanitaire non ventilé

I.4.9 Plancher au-dessus d'un vide sanitaire ventilé



Conditions de bord (validité des tableaux) :

Sol: $\lambda = 2 \text{ W/mK}$

Mur de vide sanitaire (ventilé):

- ventilation: $20 \text{ cm}^2/\text{m}$ (ouvertures), $v = 4 \text{ m/s}$; $f_w = 0,05$
- épaisseur $w = 0,3 \text{ m}$; hauteur au-dessus du niveau du sol $h = 0,50 \text{ m}$; profondeur dans le sol $z = 0,50 \text{ m}$ (hauteur libre vide sanitaire = $0,80 \text{ m}$)
- résistance thermique $R_w = 0,2 \text{ m}^2\text{K/W}$; $U_w = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ (au-dessus du niveau du sol)

Plancher : Valeur R_f variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$

Plancher du vide sanitaire: non isolé ($R_g = 0$)

Détermination H_g selon EN ISO 13370 (voir 16.5.2) :

$$H_g = A_f \cdot U + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

Détermination à l'aide de U_{eq} et d'un facteur de réduction (voir 16.5.3) :

$$H_g = A_f \cdot b \cdot U_{eq} + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

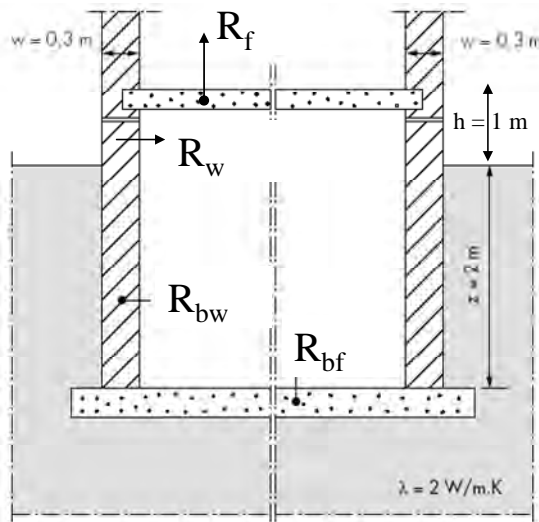
DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,39	0,35	0,32	0,30	0,28	0,24	0,22
0,20	5,00	10,00	0,63	0,54	0,48	0,43	0,39	0,32	0,28
0,30	3,33	6,67	0,81	0,67	0,58	0,50	0,45	0,37	0,31
0,40	2,50	5,00	0,96	0,77	0,65	0,56	0,49	0,39	0,33
0,50	2,00	4,00	1,08	0,85	0,70	0,60	0,52	0,41	0,34
0,60	1,67	3,33	1,18	0,91	0,74	0,63	0,54	0,43	0,35
0,80	1,25	2,50	1,34	1,00	0,80	0,67	0,57	0,45	0,36
1,00	1,00	2,00	1,47	1,08	0,85	0,70	0,60	0,46	0,37
d_g (m) ⇒			0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72

Tableau I 25 – Valeurs U (en $\text{W/m}^2\text{K}$) d'un plancher au-dessus d'un vide sanitaire ventilé

DETERMINATION DE H_g SUR LA BASE D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE									
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)						
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,10	10,00	20,00	0,08	0,16	0,23	0,29	0,34	0,41	0,49
0,20	5,00	10,00	0,13	0,25	0,34	0,41	0,47	0,55	0,62
0,30	3,33	6,67	0,17	0,31	0,41	0,48	0,54	0,63	0,69
0,40	2,50	5,00	0,20	0,35	0,46	0,54	0,59	0,67	0,73
0,50	2,00	4,00	0,23	0,39	0,50	0,58	0,63	0,70	0,75
0,60	1,67	3,33	0,25	0,42	0,53	0,60	0,65	0,74	0,77
0,80	1,25	2,50	0,28	0,46	0,57	0,64	0,69	0,77	0,80
1,00	1,00	2,00	0,31	0,50	0,60	0,67	0,73	0,79	0,82
U_{eq} ($\text{W/m}^2\text{K}$) ⇒			4,76	2,17	1,41	1,04	0,83	0,58	0,45

Tableau I 26 – Facteurs de réduction b (-) pour un plancher au-dessus d'un vide sanitaire ventilé

I.4.10 Plancher au-dessus d'une cave non chauffée (2 m de profondeur)



Conditions de bord (validité des tableaux) :

- Sol: $\lambda = 2 \text{ W/mK}$
- Mur de cave non chauffée:
 - épaisseur $w = 0,3 \text{ m}$; profondeur dans le sol $z = 2 \text{ m}$
 - résistance thermique $R_w = R_{bw} = 0,20 \text{ m}^2\text{K/W}$; $U_{bw} = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$; $d_w = 0,74 \text{ m}$
 - au-dessus du niveau du sol: $h = 1 \text{ m}$; $U_w = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Plancher de cave non chauffée : $R_{bf} = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ et $d_f = 0,96 \text{ m}$;
- Plancher au-dessus de cave: R_f variant entre 0 et $2 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Cave non ventilée

Détermination H_g selon EN ISO 13370 (voir 16.6) :

$$H_g = A_f \cdot U + P \cdot \Psi_g \quad (\text{W/K})$$

$$\text{où : } \frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A_f}{A_{bf} \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + h \cdot P \cdot U_w}$$

DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370										
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)							U_{bf} W/ m^2K
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	
0,10	10,00	20,00	0,55	0,48	0,43	0,39	0,35	0,30	0,26	0,22
0,20	5,00	10,00	0,88	0,72	0,61	0,53	0,47	0,38	0,32	0,34
0,30	3,33	6,67	1,12	0,87	0,72	0,61	0,53	0,42	0,35	0,43
0,40	2,50	5,00	1,30	0,98	0,79	0,66	0,57	0,44	0,36	0,50
0,50	2,00	4,00	1,45	1,06	0,84	0,69	0,59	0,46	0,37	0,55
0,60	1,67	3,33	1,57	1,13	0,88	0,72	0,61	0,47	0,38	0,59
0,80	1,25	2,50	1,75	1,22	0,93	0,76	0,64	0,48	0,39	0,66
1,00	1,00	2,00	1,89	1,28	0,97	0,78	0,65	0,49	0,40	0,70
U_f (W/ m^2K) ⇒			2,94	1,69	1,19	0,92	0,75	0,54	0,43	

Tableau I 27 Valeurs U (en W/ m^2K) d'un plancher au-dessus d'une cave non chauffée et non ventilée

DETERMINATION DE H_g SUR LA BASE D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE										
P/A (m^{-1}) ↓	A/P (m) ↓	B' (m) ↓	R_f ($\text{m}^2\text{K/W}$)							U_{bf} W/ m^2K
			0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	
0,10	10,00	20,00	0,12	0,22	0,31	0,37	0,42	0,51	0,57	0,57
0,20	5,00	10,00	0,18	0,33	0,43	0,51	0,57	0,65	0,71	0,71
0,30	3,33	6,67	0,24	0,40	0,51	0,59	0,64	0,72	0,77	0,77
0,40	2,50	5,00	0,27	0,45	0,56	0,63	0,69	0,75	0,80	0,80
0,50	2,00	4,00	0,30	0,49	0,60	0,66	0,71	0,79	0,82	0,82
0,60	1,67	3,33	0,33	0,52	0,62	0,69	0,74	0,80	0,84	0,84
0,80	1,25	2,50	0,37	0,56	0,66	0,73	0,77	0,82	0,86	0,86
1,00	1,00	2,00	0,40	0,59	0,69	0,75	0,79	0,84	0,88	0,88
U_{eq} (W/ m^2K) ⇒			4,76	2,17	1,41	1,04	0,83	0,58	0,45	

Tableau I 28– Facteurs de réduction b (-) d'un plancher au-dessus d'une cave non chauffée et non ventilée

I.5 Tableaux complémentaires de valeurs U précalculées (NBN EN ISO 13370) et de facteurs de réduction précalculés (valeurs U équivalentes)

I.5.1 Plancher sur terre-plein (sans isolation périphérique)

Le Tableau I 29 et le Tableau I 30 donnent la valeur U_f (et le facteur de réduction b) pour les planchers sur terre-plein. Ils sont les équivalents respectifs du Tableau I 3 et du Tableau I 4, mais un plus large choix de paramètres d'influence y est possible. Les tableaux permettent, entre autres, de prendre en compte l'épaisseur (w) du mur extérieur en tant que paramètre d'influence via la résistance thermique équivalente du plancher $R_{f,eq}$.

DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370: $H_g = A_f \cdot U_f + P \cdot \Psi_g$															
A/P (m) ↓	B' (m) ↓	$R_{f,eq}$ (1)	0,60	0,75	1,00	1,25	1,36	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	3,00	3,50	4,00
		R_f	0,24	0,39	0,64	0,89	1,00	1,14	1,39	1,64	1,89	2,14	2,64	3,14	3,64
		$U_{f,eq}$ (2)	2,22	1,67	1,18	0,91	0,83	0,74	0,63	0,54	0,48	0,43	0,35	0,30	0,26
1,00	2,00	U_f ⇒	0,98	0,85	0,69	0,59	0,55	0,51	0,45	0,41	0,37	0,34	0,29	0,25	0,22
1,25	2,50		0,89	0,78	0,65	0,55	0,52	0,48	0,43	0,39	0,35	0,33	0,28	0,25	0,22
1,50	3,00		0,82	0,73	0,61	0,52	0,49	0,46	0,41	0,37	0,34	0,31	0,27	0,24	0,21
1,75	3,50		0,76	0,68	0,58	0,50	0,47	0,44	0,39	0,36	0,33	0,30	0,26	0,23	0,21
2,00	4,00		0,71	0,64	0,55	0,48	0,45	0,42	0,38	0,34	0,32	0,29	0,26	0,23	0,20
2,25	4,50		0,66	0,60	0,52	0,46	0,43	0,41	0,37	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,20
2,50	5,00		0,63	0,57	0,49	0,44	0,42	0,39	0,35	0,32	0,30	0,27	0,24	0,22	0,19
2,75	5,50		0,59	0,54	0,47	0,42	0,40	0,38	0,34	0,31	0,29	0,27	0,23	0,21	0,19
3,00	6,00		0,56	0,51	0,45	0,40	0,38	0,36	0,33	0,31	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19
3,25	6,50		0,53	0,49	0,43	0,39	0,37	0,35	0,32	0,30	0,27	0,26	0,22	0,20	0,18
3,50	7,00		0,51	0,47	0,41	0,37	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,22	0,20	0,18
3,75	7,50		0,49	0,45	0,40	0,36	0,35	0,33	0,30	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,18
4,00	8,00		0,47	0,43	0,38	0,35	0,33	0,32	0,29	0,27	0,25	0,24	0,21	0,19	0,17
4,25	8,50		0,45	0,42	0,37	0,34	0,32	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17
4,50	9,00		0,43	0,40	0,36	0,33	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,20	0,18	0,17

(1) $R_{f,eq} = R_f + 0,21 + w/2$ (m²K/W) où : w = épaisseur mur (m)
 (2) $U_{f,eq} = 1/(R_f + 0,21)$ (W/m²K) où : w = 0,3 m

Tableau I 29 – Valeurs U_f (en W/m²K) d'un plancher sur terre-plein en fonction de $R_{f,eq}$

DETERMINATION DE H_g AU MOYEN D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE : $H_g = A_f \cdot b \cdot U_{f,eq} + P \cdot \Psi_g$															
A/P (m) ↓	B' (m) ↓	$R_{f,eq}$ (1)	0,60	0,75	1,00	1,25	1,36	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	3,00	3,50	4,00
		R_f	0,24	0,39	0,64	0,89	1,00	1,14	1,39	1,64	1,89	2,14	2,64	3,14	3,64
		$U_{f,eq}$ (2)	2,22	1,67	1,18	0,91	0,83	0,74	0,63	0,54	0,48	0,43	0,35	0,30	0,26
1,00	2,00	b ⇒	0,59	0,63	0,69	0,73	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,88	0,90
1,25	2,50		0,54	0,59	0,65	0,69	0,70	0,72	0,75	0,78	0,80	0,81	0,84	0,86	0,88
1,50	3,00		0,49	0,55	0,61	0,66	0,67	0,69	0,72	0,74	0,77	0,78	0,81	0,84	0,85
1,75	3,50		0,46	0,51	0,58	0,62	0,64	0,66	0,69	0,71	0,74	0,76	0,79	0,81	0,83
2,00	4,00		0,43	0,48	0,55	0,60	0,61	0,63	0,66	0,69	0,71	0,73	0,77	0,79	0,81
2,25	4,50		0,40	0,45	0,52	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,69	0,71	0,74	0,77	0,80
2,50	5,00		0,38	0,43	0,49	0,55	0,56	0,59	0,62	0,65	0,67	0,69	0,72	0,75	0,78
2,75	5,50		0,36	0,40	0,47	0,52	0,54	0,57	0,60	0,63	0,65	0,67	0,70	0,74	0,76
3,00	6,00		0,34	0,38	0,45	0,50	0,52	0,55	0,58	0,61	0,63	0,66	0,69	0,72	0,74
3,25	6,50		0,32	0,37	0,43	0,48	0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,64	0,67	0,70	0,73
3,50	7,00		0,31	0,35	0,41	0,47	0,49	0,51	0,55	0,58	0,60	0,62	0,66	0,69	0,71
3,75	7,50		0,29	0,34	0,40	0,45	0,47	0,49	0,53	0,56	0,59	0,61	0,65	0,68	0,70
4,00	8,00		0,28	0,32	0,38	0,43	0,45	0,48	0,51	0,55	0,57	0,60	0,63	0,66	0,69
4,25	8,50		0,27	0,31	0,37	0,42	0,44	0,46	0,50	0,53	0,56	0,58	0,62	0,65	0,68
4,50	9,00		0,26	0,30	0,36	0,41	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,57	0,61	0,64	0,67

(3) $R_{f,eq} = R_f + 0,21 + w/2$ (m²K/W) où : w = épaisseur mur (m)
 (4) $U_{f,eq} = 1/(R_f + 0,21)$ (W/m²K) où : w = 0,3 m

Tableau I 30 – Facteur de réduction b (-) d'un plancher sur terre-plein

I.5.2 Murs enterrés du VP

Le Tableau I 31 donne les valeurs U_{bw} des murs enterrés du VP. Ce tableau est l'équivalent de trois tableaux réunis (Tableaux I 12, I 16 et I 20), mais la résistance thermique du plancher (R_{bf}) y est aussi reprise comme paramètre d'influence variable. U_{bw} est donné, pour différentes profondeurs enterrées (z) en fonction de la résistance thermique équivalente du plancher enterré ($R_{bf,eq}$) et de la résistance thermique équivalente du mur enterré ($R_{bw,eq}$).

Le Tableau I 32 est le tableau correspondant qui reprend le facteur de réduction b_w (à appliquer à $U_{bw,eq}$) et peut être considéré comme l'équivalent des tableaux réunis (Tableaux I 14, I 18 et I 22).

DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370: $H_g = A_{bf} \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi_g$													
Profondeur enterrée: $z = 1$ m													
$R_{bw,eq}$ (3) ↓	$U_{bw,eq}$ (4) ↓	$R_{bf,eq}$ (1) ⇒	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
		R_{bf} ⇒	0,04	0,24	0,44	0,64	1,14	1,64	2,14	2,64	3,14	3,64	
		$U_{bf,eq}$ (2) ⇒	4,00	2,22	1,54	1,18	0,74	0,54	0,43	0,35	0,30	0,26	
3,50	0,29	U_{bw} ⇒	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23		
3,00	0,33		0,19	0,21	0,22	0,23	0,25	0,26	0,26		0,27		
2,50	0,40		0,22	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30		0,31			
2,00	0,50		0,27	0,30	0,32	0,33	0,36		0,37				
1,75	0,57		0,30	0,33	0,36	0,37	0,40		0,41				
1,50	0,67		0,35	0,38	0,41	0,43		0,46					
1,25	0,80		0,40	0,45	0,48	0,50		0,52					
1,00	1,00		0,49	0,54	0,58		0,60						
0,80	1,25		0,58	0,65		0,69							
0,60	1,67		0,73		0,81								
0,40	2,50			0,98									
0,30	3,33			1,09									
Profondeur enterrée: $z = 1,5$ m													
$R_{bw,eq}$ (3) ↓	$U_{bw,eq}$ (4) ↓	$R_{bf,eq}$ (1) ⇒	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
		R_{bf} ⇒	0,04	0,24	0,44	0,64	1,14	1,64	2,14	2,64	3,14	3,64	
		$U_{bf,eq}$ (2) ⇒	4,00	2,22	1,54	1,18	0,74	0,54	0,43	0,35	0,30	0,26	
3,50	0,29	U_{bw} ⇒	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23		
3,00	0,33		0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25		0,26		
2,50	0,40		0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29		0,30			
2,00	0,50		0,29	0,31	0,32	0,33	0,35		0,36				
1,75	0,57		0,32	0,34	0,36	0,37		0,39					
1,50	0,67		0,37	0,39	0,41	0,42		0,44					
1,25	0,80		0,43	0,45	0,47	0,48		0,50					
1,00	1,00		0,51	0,54	0,56		0,58						
0,80	1,25		0,60	0,63		0,66							
0,60	1,67		0,73		0,78								
0,40	2,50			0,95									
0,30	3,33			1,09									
Profondeur enterrée: $z = 2$ m													
$R_{bw,eq}$ (3) ↓	$U_{bw,eq}$ (4) ↓	$R_{bf,eq}$ (1) ⇒	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
		R_{bf} ⇒	0,04	0,24	0,44	0,64	1,14	1,64	2,14	2,64	3,14	3,64	
		$U_{bf,eq}$ (2) ⇒	4,00	2,22	1,54	1,18	0,74	0,54	0,43	0,35	0,30	0,26	
3,50	0,29	U_{bw} ⇒	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22		
3,00	0,33		0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,24	0,25		0,25		
2,50	0,40		0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29		0,29			
2,00	0,50		0,30	0,31	0,32	0,32	0,34		0,34				
1,75	0,57		0,33	0,34	0,35	0,36	0,37		0,38				
1,50	0,67		0,37	0,39	0,40	0,41		0,42					
1,25	0,80		0,43	0,44	0,46	0,47		0,48					
1,00	1,00		0,50	0,52	0,54		0,56						
0,80	1,25		0,59	0,61		0,63							
0,60	1,67		0,71		0,74								
0,40	2,50			0,81									
0,30	3,33			1,04									
Profondeur enterrée: $z = 2,5$ m													
$R_{bw,eq}$ (3) ↓	$U_{bw,eq}$ (4) ↓	$R_{bf,eq}$ (1) ⇒	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
		R_{bf} ⇒	0,04	0,24	0,44	0,64	1,14	1,64	2,14	2,64	3,14	3,64	
		$U_{bf,eq}$ (2) ⇒	4,00	2,22	1,54	1,18	0,74	0,54	0,43	0,35	0,30	0,26	
3,50	0,29	U_{bw}	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22		0,22	
3,00	0,33		0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24		0,25		

2,50	0,40	⇒	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,28			
2,00	0,50		0,30	0,30	0,31	0,32	0,33	0,33				
1,75	0,57		0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,37				
1,50	0,67		0,37	0,38	0,39	0,39	0,41					
1,25	0,80		0,42	0,43	0,44	0,45	0,46					
1,00	1,00		0,49	0,51	0,52	0,53						
0,80	1,25		0,57	0,59	0,60							
0,60	1,67		0,69	0,71								
0,40	2,50		0,86									
0,30	3,33		0,98									
Profondeur enterrée: z = 3 m												
$R_{bw,eq}$ (3) ↓	$U_{bw,eq}$ (4) ↓	$R_{bf,eq}$ (1) ⇒	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
		R_{bf} ⇒	0,04	0,24	0,44	0,64	1,14	1,64	2,14	2,64	3,14	3,64
		$U_{bf,eq}$ (2) ⇒	4,00	2,22	1,54	1,18	0,74	0,54	0,43	0,35	0,30	0,26
3,50	0,29	⇒ U_{bw}	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21		
3,00	0,33		0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24		
2,50	0,40		0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27			
2,00	0,50		0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,32				
1,75	0,57		0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35				
1,50	0,67		0,36	0,37	0,38	0,38	0,39					
1,25	0,80		0,41	0,42	0,43	0,44	0,44					
1,00	1,00		0,48	0,49	0,50	0,51						
0,80	1,25		0,55	0,57	0,57							
0,60	1,67		0,66	0,67								
0,40	2,50		0,82									
0,30	3,33		0,93									
(1) $R_{bf,eq} = R_{bf} + 0,21 + w/2$ (m ² K/W) où : w = épaisseur mur (m)												
(2) $U_{bf,eq} = 1/(R_{bf} + 0,21)$ (W/m ² K) où : w = 0,3 m												
(3) $R_{bw,eq} = R_{bw} + 0,17$ (m ² K/W)												
(4) $U_{bw,eq} = 1/R_{bw,eq}$ (W/m ² K)												

Tableau I 31 – Valeurs U_{bw} de murs enterrés en fonction de la profondeur enterrée et de la résistance thermique du plancher enterré

DETERMINATION DE H_g AU MOYEN D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE : $H_g = A_{bf} \cdot b_w \cdot U_{bf,eq} + z \cdot P \cdot b_w \cdot U_{bw,eq} + P \cdot \Psi_g$												
Profondeur enterrée : z = 1 m												
$R_{bw,eq}$ (3) ↓	$U_{bw,eq}$ (4) ↓	$R_{bf,eq}$ (1) ⇒	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
		R_{bf} ⇒	0,04	0,24	0,44	0,64	1,14	1,64	2,14	2,64	3,14	3,64
		$U_{bf,eq}$ (2) ⇒	4,00	2,22	1,54	1,18	0,74	0,54	0,43	0,35	0,30	0,26
3,50	0,29	⇒ b_w	0,56	0,62	0,66	0,69	0,74	0,77	0,79	0,81	0,82	
3,00	0,33		0,56	0,62	0,66	0,69	0,74	0,77	0,79	0,80		
2,50	0,40		0,55	0,61	0,65	0,68	0,73	0,75	0,77			
2,00	0,50		0,54	0,59	0,63	0,66	0,71	0,74				
1,75	0,57		0,53	0,59	0,62	0,65	0,70	0,72				
1,50	0,67		0,52	0,57	0,61	0,64	0,69					
1,25	0,80		0,51	0,56	0,60	0,62	0,65					
1,00	1,00		0,49	0,54	0,58	0,60						
0,80	1,25		0,47	0,52	0,55							
0,60	1,67		0,44	0,48								
0,40	2,50		0,39									
0,30	3,33		0,33									
Profondeur enterrée : z = 1,5 m												
$R_{bw,eq}$ (3) ↓	$U_{bw,eq}$ (4) ↓	$R_{bf,eq}$ (1) ⇒	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
		R_{bf} ⇒	0,04	0,24	0,44	0,64	1,14	1,64	2,14	2,64	3,14	3,64
		$U_{bf,eq}$ (2) ⇒	4,00	2,22	1,54	1,18	0,74	0,54	0,43	0,35	0,30	0,26
3,50	0,29	⇒ b_w	0,61	0,65	0,68	0,70	0,74	0,76	0,78	0,79	0,80	
3,00	0,33		0,61	0,64	0,67	0,69	0,73	0,75	0,76	0,78		
2,50	0,40		0,59	0,63	0,66	0,68	0,71	0,73	0,75			
2,00	0,50		0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71				
1,75	0,57		0,56	0,60	0,62	0,64	0,68					
1,50	0,67		0,55	0,58	0,61	0,63	0,66					
1,25	0,80		0,53	0,56	0,59	0,61	0,62					
1,00	1,00		0,51	0,54	0,56	0,58						
0,80	1,25		0,48	0,51	0,53							
0,60	1,67		0,44	0,47								
0,40	2,50		0,38									
0,30	3,33		0,33									

Profondeur enterrée : z = 2 m													
$R_{bw,eq}$ (3) ↓	$U_{bw,eq}$ (4) ↓	$R_{bf,eq}$ (1) ⇒	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
		R_{bf} ⇒	0,04	0,24	0,44	0,64	1,14	1,64	2,14	2,64	3,14	3,64	
		$U_{bf,eq}$ (2) ⇒	4,00	2,22	1,54	1,18	0,74	0,54	0,43	0,35	0,30	0,26	
3,50	0,29	b_w ⇒	0,64	0,57	0,68	0,70	0,73	0,75	0,76	0,77	0,78		
3,00	0,33		0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,76			
2,50	0,40		0,61	0,64	0,65	0,67	0,70	0,71	0,73				
2,00	0,50		0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69					
1,75	0,57		0,58	0,60	0,62	0,63	0,65	0,66					
1,50	0,67		0,56	0,58	0,60	0,61	0,63						
1,25	0,80		0,53	0,56	0,57	0,58	0,60						
1,00	1,00		0,50	0,52	0,54	0,55							
0,80	1,25		0,47	0,49	0,50								
0,60	1,67		0,43	0,44									
0,40	2,50		0,36										
0,30	3,33		0,31										
Profondeur enterrée : z = 2,5 m													
$R_{bw,eq}$ (3) ↓	$U_{bw,eq}$ (4) ↓	$R_{bf,eq}$ (1) ⇒	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
		R_{bf} ⇒	0,04	0,24	0,44	0,64	1,14	1,64	2,14	2,64	3,14	3,64	
		$U_{bf,eq}$ (2) ⇒	4,00	2,22	1,54	1,18	0,74	0,54	0,43	0,35	0,30	0,26	
3,50	0,29	b_w ⇒	0,65	0,67	0,68	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76		
3,00	0,33		0,64	0,65	0,67	0,68	0,70	0,72	0,73	0,74			
2,50	0,40		0,62	0,63	0,65	0,66	0,68	0,70	0,71				
2,00	0,50		0,59	0,61	0,62	0,63	0,65	0,67					
1,75	0,57		0,58	0,59	0,60	0,61	0,63	0,64					
1,50	0,67		0,55	0,57	0,58	0,59	0,61						
1,25	0,80		0,53	0,54	0,55	0,56	0,57						
1,00	1,00		0,49	0,51	0,52	0,53							
0,80	1,25		0,46	0,47	0,48								
0,60	1,67		0,41	0,42									
0,40	2,50		0,35										
0,30	3,33		0,30										
Profondeur enterrée : z = 3 m													
$R_{bw,eq}$ (3) ↓	$U_{bw,eq}$ (4) ↓	$R_{bf,eq}$ (1) ⇒	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
		R_{bf} ⇒	0,04	0,24	0,44	0,64	1,14	1,64	2,14	2,64	3,14	3,64	
		$U_{bf,eq}$ (2) ⇒	4,00	2,22	1,54	1,18	0,74	0,54	0,43	0,35	0,30	0,26	
3,50	0,29	b_w ⇒	0,66	0,67	0,68	0,69	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74		
3,00	0,33		0,64	0,65	0,66	0,67	0,69	0,70	0,71	0,72			
2,50	0,40		0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,68	0,69				
2,00	0,50		0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64					
1,75	0,57		0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62					
1,50	0,67		0,55	0,56	0,57	0,57	0,58						
1,25	0,80		0,52	0,53	0,54	0,54	0,55						
1,00	1,00		0,48	0,49	0,50	0,51							
0,80	1,25		0,44	0,45	0,46								
0,60	1,67		0,39	0,40									
0,40	2,50		0,33										
0,30	3,33		0,28										
(1)	$R_{bf,eq} = R_{bf} + 0,21 + w/2$ (m ² K/W) où : w = épaisseur mur (m)												
(2)	$U_{bf,eq} = 1/(R_{bf} + 0,21)$ (W/m ² K) où : w = 0,3 m												
(3)	$R_{bw,eq} = R_{bw} + 0,17$ (m ² K/W)												
(4)	$U_{bw,eq} = 1/R_{bw,eq}$ (W/m ² K)												

Tableau I 32 - Facteur de réduction b_w (-) de murs enterrés en fonction de la profondeur enterrée et de la résistance thermique du plancher enterré

I.5.3 Planchers au-dessus d'espaces non chauffés et ventilés partiellement ou entièrement renfermés par le sol

Le Tableau I 33 donne la valeur U d'un plancher au-dessus d'un vide sanitaire ou d'une cave ventilés naturellement, à plancher non isolé, en fonction de la résistance thermique équivalente de ce plancher ($R_{f,eq}$) et d'un paramètre d'influence Y.

Selon les cas possibles de ventilation du vide sanitaire ou de la cave, ce paramètre d'influence Y est calculé d'une des manières suivantes.

Dans le cas d'un vide sanitaire ou d'une cave ventilés naturellement :

- dans l'hypothèse d'un taux de ventilation par défaut de $n = 0,3 \text{ h}^{-1}$ (associé au volume d'air du vide sanitaire ou de la cave) :
 - $Y = U_f + (h + z) \cdot (1 + 20 \cdot U_{w,m} / B') / 10$
- dans l'hypothèse d'ouvertures de ventilation ε (m^2 d'ouvertures par m de périmètre):
 - $Y = U_f + 2 \cdot ((h + z) \cdot U_{w,m} + 145 \cdot \varepsilon) / B'$

où:

- U_f ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) : valeur U du plancher enterré ;
- $U_{w,m}$ ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) : valeur U moyenne pondérée par la surface des parties de mur au-dessus du sol et enterrées le long du périmètre du VP ;
- h (m) : hauteur moyenne de la partie de mur au-dessus du sol ;
- z (m) : profondeur enterrée moyenne de la partie de mur enterrée ;
- B' (m) : dimension caractéristique du plancher inférieur ;
- ε (m^2/m) : aire des ouvertures de ventilation.

Dans le cas d'un vide sanitaire ou d'une cave ventilés mécaniquement :

- dans l'hypothèse d'une ventilation par de l'air extérieur:
 - $Y = U_f + (h + z) \cdot (U_{w,m} \cdot A/P + 0,34 \cdot n)$
- dans l'hypothèse d'une ventilation par de l'air repris du VP :
 - $Y = U_f + (h + z) \cdot U_{w,m} \cdot A/P$

Le Tableau I 34 est le tableau correspondant qui donne le facteur de réduction b.

DETERMINATION DE H_g SUIVANT NBN EN ISO 13370: $H_g = A_f \cdot U + P \cdot \Psi_g$																
$R_{f,eq}$ (1)	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
$U_{f,eq}$ (2)	1,0	0,83	0,71	0,63	0,56	0,50	0,45	0,42	0,38	0,36	0,33	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25
Y (3) ↓																
9,0	0,90	0,76	0,66	0,58	0,52	0,47	0,43	0,40	0,37	0,34	0,32	0,30	0,28	0,27	0,26	0,24
8,0	0,89	0,75	0,66	0,58	0,52	0,47	0,43	0,40	0,37	0,34	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,24
7,0	0,88	0,74	0,65	0,57	0,51	0,47	0,43	0,39	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,24
6,0	0,86	0,73	0,64	0,57	0,51	0,46	0,42	0,39	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,24
5,0	0,83	0,71	0,63	0,56	0,50	0,45	0,42	0,38	0,36	0,33	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24
4,0	0,80	0,69	0,61	0,54	0,49	0,44	0,41	0,38	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24
(1)	$R_{f,eq} = R_f + 0,34$					$(\text{m}^2\text{K}/\text{W})$										
(2)	$U_{f,eq} = 1/R_{f,eq}$					$(\text{W}/\text{m}^2\text{K})$										

Tableau I 33 – Valeurs U (en $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) de planchers au-dessus d'espaces non chauffés partiellement ou entièrement renfermés par le sol

DETERMINATION DE H_g AU MOYEN D'UNE VALEUR U EQUIVALENTE																
$R_{f,eq}$ (1)	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
$U_{f,eq}$ (2)	1,0	0,83	0,71	0,63	0,56	0,50	0,45	0,42	0,38	0,36	0,33	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25
Y (3) ↓																
9,0	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
8,0	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97
7,0	0,88	0,89	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97
6,0	0,86	0,88	0,89	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96
5,0	0,83	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95
4,0	0,80	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94
(1)	$R_{f,eq} = R_f + 0,34$					(m^2K/W)										
(2)	$U_{f,eq} = 1/R_{f,eq}$					(W/m^2K)										

Tableau I 34 – Facteur de réduction b (-) de planchers au-dessus d'espaces non chauffés partiellement ou entièrement renfermés par le sol






I.6 Tableaux de valeurs Ψ pour le raccordement entre le plancher inférieur et la fondation ou le vide sanitaire

Les valeurs par défaut de Ψ sont des valeurs qui approchent l'effet maximal de pont thermique des cas rencontrés dans la pratique, c.-à-d. qu'elles ne sous-estiment pas le transfert de chaleur à travers le pont thermique.

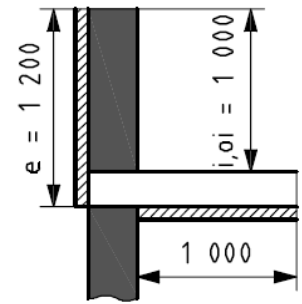
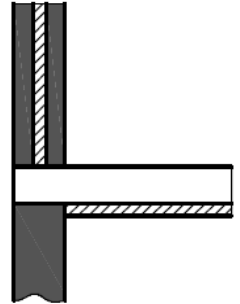
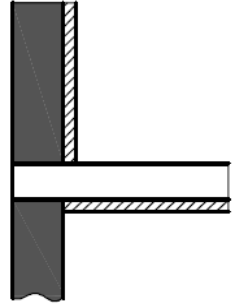
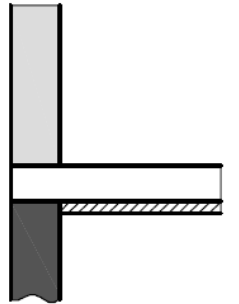
Légende des matériaux utilisés				
paroi/mur	dalle de plancher	cloison	couche d'isolation	encadrement
Les valeurs par défaut de Ψ sont des valeurs qui approchent l'effet maximal de pont thermique des cas rencontrés dans la pratique, c.-à-d. qu'elles ne sous-estiment pas le transfert de chaleur à travers le pont thermique.				

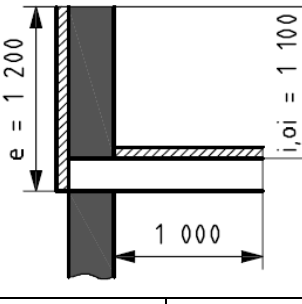
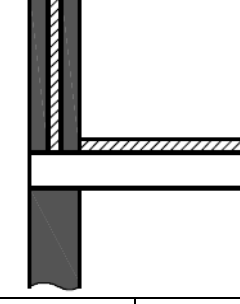
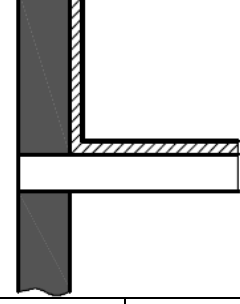
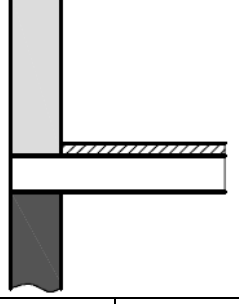
PLANCHER SUR TERRE-PLEIN							
GF1		GF2		GF3		GF4	
$\Psi_e = 0,65$	$\Psi_i = 0,80$	$\Psi_e = 0,60$	$\Psi_i = 0,75$	$\Psi_e = 0,55$	$\Psi_i = 0,70$	$\Psi_e = 0,50$	$\Psi_i = 0,65$

GF5		GF6		GF7		GF8	
$\Psi_e = 0,60$	$\Psi_i = 0,75$	$\Psi_e = 0,45$	$\Psi_i = 0,60$	$\Psi_e = -0,05$	$\Psi_i = 0,10$	$\Psi_e = 0,05$	$\Psi_i = 0,20$

Légende des matériaux utilisés				
				
paroi/mur	dalle de plancher	cloison	couche d'isolation	encadrement

Les valeurs par défaut de Ψ sont des valeurs qui approchent l'effet maximal de pont thermique des cas rencontrés dans la pratique, c.-à-d. qu'elles ne sous-estiment pas le transfert de chaleur à travers le pont thermique.

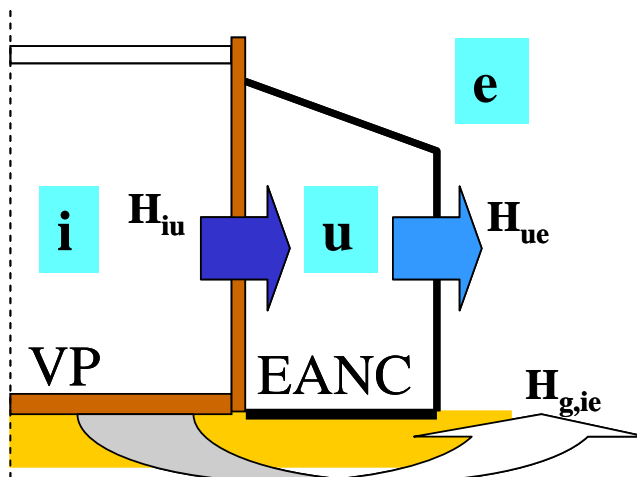
PLANCHER AU-DESSUS DE VIDE SANITAIRE							
GF9		GF10		GF11		GF12	
							
$\Psi_e = 0,75$	$\Psi_i = 0,95$	$\Psi_e = 0,65$	$\Psi_i = 0,85$	$\Psi_e = 0,55$	$\Psi_i = 0,75$	$\Psi_e = 0,50$	$\Psi_i = 0,70$

GF13		GF14		GF15		GF16	
							
$\Psi_e = 0,60$	$\Psi_i = 0,80$	$\Psi_e = 0,45$	$\Psi_i = 0,65$	$\Psi_e = -0,10$	$\Psi_i = 0,10$	$\Psi_e = 0,00$	$\Psi_i = 0,20$

ANNEXE J

Bilan thermique d'un EANC sur la base d'une détermination simplifiée des termes H_{iu} et H_{ue}

J.1 Bilan thermique d'un EANC (détermination simplifiée)



La détermination du coefficient de transmission thermique H_U entre les espaces du VP et l'environnement extérieur via un EANC s'effectue, de manière simplifiée, sur la base des expressions suivantes (voir 17.2.1 et 17.2.4) :

- expression (84) $H_U = b_u \cdot H_{iu} \quad (\text{W/K})$
- expression (85) $b_u = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$
- expression (95) $H_{iu} = H_{T,iu} = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i \quad (\text{W/K})$
- expression (96) $H_{ue} = H_{T,ue} + H_{V,ue} = \sum_{e=1}^n U_e \cdot A_e + \sum_{k=1}^m l_k \cdot \Psi_k + 0,34 \cdot n_{ue} \cdot V_u \quad (\text{W/K})$

La détermination du facteur de réduction b_u selon (85) peut, en combinaison avec (95) et (96), être décrite comme suit:

$$b_u = \frac{r_T + 0,34 \cdot n_{ue} \cdot r_V}{1 + r_T + 0,34 \cdot n_{ue} \cdot r_V}$$

où :

$$r_T = H_{T,ue} / H_{T,iu}$$

$$r_V = V_u / H_{T,iu}$$

Sur la base de l'expression précédente, le tableau du paragraphe J.2 donne des valeurs précalculées de b_u en fonction des paramètres (à calculer préalablement) r_T et r_V . Pour n_{ue} , (taux de ventilation conventionnel entre l'EANC et l'environnement extérieur), on peut adopter les valeurs par défaut du Tableau 22, correspondent au cas le plus adéquat.

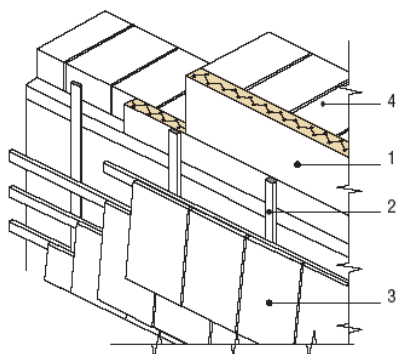
J.2 Valeurs tabulées précalculées pour le facteur de réduction b_u

Facteur de réduction b_u en vue de la détermination du transfert de chaleur entre VP et environnement extérieur via un EANC														
n_{ue} (h^{-1})	$r_T =$ $H_{T,ue}/H_{T,iu}$	$r_v = V_u / H_{T,iu}$												
		0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
0.1	0.5	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40
	1.0	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	0,52	0,52	0,53	0,53	0,54
	1.5	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62	0,62	0,63
	2.0	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69
	2.5	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73
	3.0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76
	4.0	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,81	0,81
	6.0	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
	8.0	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
10.0	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	
0.5	0.5	0,34	0,34	0,35	0,36	0,38	0,39	0,40	0,43	0,46	0,49	0,51	0,55	0,59
	1.0	0,50	0,50	0,51	0,52	0,53	0,53	0,54	0,56	0,58	0,59	0,61	0,63	0,66
	1.5	0,60	0,60	0,61	0,61	0,62	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,69	0,71
	2.0	0,67	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,69	0,70	0,70	0,71	0,72	0,73	0,75
	2.5	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,75	0,77	0,78
	3.0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77	0,78	0,78	0,79	0,80
	4.0	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,81	0,81	0,81	0,81	0,82	0,82	0,83	0,83
	6.0	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,88
	8.0	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90
10.0	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92	
1	0.5	0,34	0,35	0,36	0,39	0,42	0,44	0,46	0,51	0,55	0,59	0,62	0,66	0,70
	1.0	0,50	0,51	0,52	0,53	0,55	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,68	0,71	0,74
	1.5	0,60	0,61	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,67	0,69	0,71	0,72	0,75	0,77
	2.0	0,67	0,67	0,67	0,68	0,69	0,70	0,70	0,72	0,73	0,75	0,76	0,78	0,80
	2.5	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,82
	3.0	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,77	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83
	4.0	0,80	0,80	0,80	0,81	0,81	0,81	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85	0,86
	6.0	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89
	8.0	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,91	0,91
10.0	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92	0,92	0,93	
3	0.5	0,36	0,38	0,42	0,48	0,54	0,58	0,62	0,68	0,73	0,77	0,80	0,84	0,87
	1.0	0,51	0,53	0,55	0,59	0,62	0,65	0,68	0,73	0,77	0,80	0,82	0,86	0,88
	1.5	0,61	0,62	0,63	0,66	0,68	0,71	0,72	0,76	0,79	0,82	0,84	0,87	0,89
	2.0	0,67	0,68	0,69	0,71	0,73	0,74	0,76	0,79	0,81	0,83	0,85	0,88	0,90
	2.5	0,72	0,72	0,73	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,86	0,88	0,90
	3.0	0,75	0,76	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81	0,83	0,84	0,86	0,87	0,89	0,91
	4.0	0,80	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89	0,90	0,92
	6.0	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,93
	8.0	0,89	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94
10.0	0,91	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,95	
10	0.5	0,40	0,46	0,55	0,66	0,73	0,78	0,82	0,87	0,90	0,93	0,94	0,96	0,97
	1.0	0,54	0,58	0,63	0,71	0,77	0,81	0,83	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97
	1.5	0,63	0,65	0,69	0,75	0,79	0,82	0,85	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97
	2.0	0,69	0,70	0,73	0,78	0,81	0,84	0,86	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96	0,98
	2.5	0,73	0,74	0,77	0,80	0,83	0,85	0,87	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,98
	3.0	0,76	0,77	0,79	0,82	0,84	0,86	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,97	0,98
	4.0	0,81	0,81	0,83	0,85	0,87	0,88	0,89	0,92	0,93	0,94	0,95	0,97	0,98
	6.0	0,86	0,87	0,87	0,89	0,90	0,91	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
	8.0	0,89	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98
10.0	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,98	

ANNEXE K Exemples de calcul (valeurs U et R)

K.1 Valeur U de parois à couches de construction homogènes et non homogènes

K.1.1 Mur plein avec isolation extérieure et bardage



- 1: 5 cm de panneau d'isolation XPS (spécification de produit démontrable - $\lambda_U = 0.036 \text{ W/mK}$) ; majoration pour tolérances de pose ΔU_{cor} appliquée ($\lambda_{U_i, isolation} \leq 0,100 \text{ W/mK}$) ; majoration pour fentes ΔU_g non appliquée (niveau 0 de pose) ; majoration pour crochets dans lame d'air ΔU_f appliquée (valeurs par défaut reprises de 7.4.4)
- 2 + 3: lattis avec bardage (imperméable), avec lame d'air fortement ventilée ; résistance thermique négligeable et application de $(R_{si} + R_{si})$ au lieu de $(R_{si} + R_{se})$;
- 4: mur plein maçonné (29 cm de brique pleine - $\rho \leq 2100 \text{ kg/m}^3$) avec enduit intérieur de 1 cm

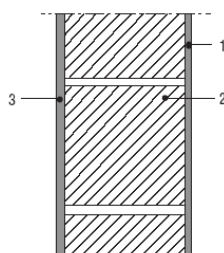
Fraction de joints (mortier de ciment) de 20% appliquée sur la maçonnerie.

Figure K 1 – Mur extérieur plein avec isolation extérieure et bardage

Couches de construction	Mat. $\lambda_{U,mat}$ W/mK	Joints		Couche λ_U W/mK	Epais. d (m)	$R=d/\lambda_U$ m ² K/W	$U=1/R_T$ W/m ² K	Corrections sur la valeur U			$U_c = U + \Sigma(\Delta U)$ W/m ² K
		f_{joint} (-)	λ_{joint} W/mK					ΔU_{cor} W/m ² K	ΔU_g W/m ² K	ΔU_f W/m ² K	
Surf. extér.											
Bardage											
Surf. int.						0.130					
1	Plaque XPS	0.036		0.036	0.05	1.389					
4a	Brique:	0.810	0.20	1.000	0.29	0.342					
4b	Enduit	0.570		0.570	0.01	0.018					
Surf. int.						0.130					
$R_T =$						2.008	0.498	0.026	0.000	0.025	0.55

Tableau K 1 – Valeur U (mur extérieur plein)

K.1.2 Mur extérieur plein



- 1 : 1 cm d'enduit (intérieur)
- 2 : 30 cm de blocs de béton cellulaire collés ($\rho \leq 400 \text{ kg/m}^3$ - $\lambda_{U_i} = 0,12 \text{ W/mK}$) ; majoration pour tolérances de pose ΔU_{cor} non appliquée ($\lambda_{U_i, béton cellulaire} > 0,100 \text{ W/mK}$)
- 3 : 1 cm de système d'enduit (extérieur), dont la durabilité et l'imperméabilité sont garanties par le fabricant.

Figure K 2 – Mur extérieur plein

Couches de construction	Mat. $\lambda_{U,mat}$ W/mK	Joints		Couche λ_U W/mK	Epais. d (m)	$R=d/\lambda_U$ m ² K/W	$U=1/R_T$ W/m ² K	Corrections sur la valeur U			$U_c = U + \Sigma(\Delta U)$ W/m ² K
		f_{joint} (-)	λ_{joint} W/mK					ΔU_{cor} W/m ² K	ΔU_g W/m ² K	ΔU_f W/m ² K	
Surf. int.						0.130					
1	Enduit	0.570		0.570	0.01	0.018					
2	Béton cellul.	0.120		0.120	0.30	2.500					
3	Enduit	1.500		1.500	0.01	0.007					
Surf. ext.						0.040					
$R_T =$						2.694	0.371	0.000	0.000	0.000	0.37

Tableau K 2 – Valeur U de mur extérieur plein

K.1.3 Mur intérieur

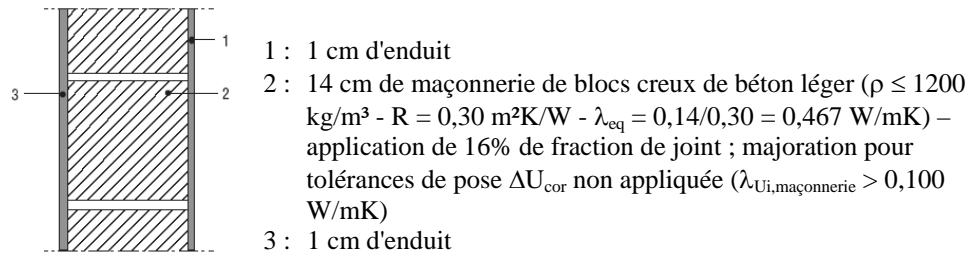


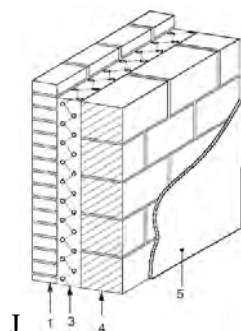
Figure K 3 – Mur intérieur plein

Couches de construction	Mat.	Joints		Couche	Epais.	$R=d/\lambda_U$	$U=1/R_T$	Corrections sur la valeur U			$U_c = U + \Sigma(\Delta U)$		
		$\lambda_{U,\text{mat}}$	f_{joint}					λ_{joint}	λ_U	d		R	ΔU_{cor}
	Surf. int.					0.130							
1	Enduit	0.570		0.570	0.01	0.018							
2	Maçonnerie	0.467	0.16	1.000	0.14	0.253							
3	Enduit	0.570		0.570	0.01	0.018							
	Surf. int.					0.130							
$R_T =$						0.549	1.823	0.000	0.000	0.000	1.82		

Tableau K 3 – Valeur U de mur intérieur plein

K.1.4 Mur creux

K.1.4.1 Remplissage complet de la lame d'air



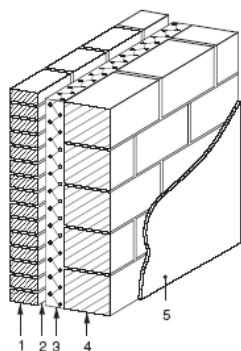
- 1 : parement (9 cm – brique pleine - $\rho \leq 1700 \text{ kg/m}^3$ - avec spécification de produit – fraction de joint de 28% appliquée)
 3 : 7 cm de panneau d'isolation de laine minérale sans spécification de produit ($\lambda_U = 0,05 \text{ W/mK}$) ; majoration pour tolérances de pose ΔU_{cor} appliquée ($\lambda_{\text{Ui, isolation}} \leq 0,100 \text{ W/mK}$) ; majoration pour fentes ΔU_g appliquée (niveau 1 de pose) ; majoration pour crochets dans lame d'air ΔU_f appliquée (valeurs par défaut reprises de 7.4.4) ;
 4 : mur porteur (14 cm – bloc de construction en brique perforée - $\rho \leq 1100 \text{ kg/m}^3$ - avec spécification de produit – fraction de joint de 16% appliquée)
 5 : enduit (1 cm d'enduit de plâtre)

Figure K 4 – Mur creux isolé (remplissage complet de la lame d'air)

Couches de construction	Mat.	Joints		Couche	Epais.	$R=d/\lambda_U$	$U=1/R_T$	Corrections sur la valeur U			$U_c = U + \Sigma(\Delta U)$		
		$\lambda_{U,\text{mat}}$	f_{joint}					λ_{joint}	λ_U	d		R	ΔU_{cor}
	Surf. ext.					0.040							
1	Façade	1.190	0.28	1.500	0.09	0.070							
3	Plaque MW	0.050		0.050	0.07	1.400							
4	Brique perf.	0.410	0.16	1.000	0.14	0.278							
5	Enduit	0.570		0.570	0.01	0.018							
	Surf. int.					0.130							
$R_T =$						1.936	0.517	0.028	0.005	0.019	0.57		

Tableau K 4 – Valeur U de mur creux isolé (remplissage complet)

K.1.4.2 Remplissage partiel de la lame d'air



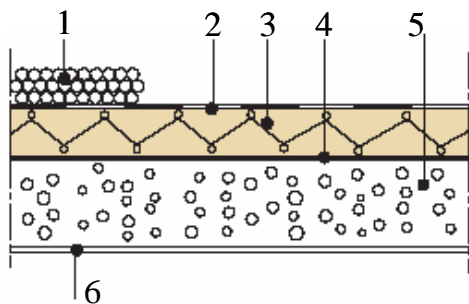
- 1 : parement (9 cm – brique pleine - $\rho \leq 1700 \text{ kg/m}^3$ - avec spécification de produit – fraction de joint de 28% appliquée) ;
- 2 : lame d'air (2 cm, modérément ventilée) ; pas d'information sur les orifices de ventilation ;
- 3 : 5 cm de panneau d'isolation de laine minérale avec spécification de produit - majoration pour tolérances de pose ΔU_{cor} appliquée ($\lambda_{U_{i, isolation}} \leq 0,100 \text{ W/mK}$) ; majoration pour fentes ΔU_g non appliquée (niveau 0 de pose) ; majoration pour crochets dans lame d'air ΔU_f appliquée (valeurs par défaut reprises de 7.4.4) ;
- 4 : mur porteur (15 cm – blocs de béton cellulaire collés - $\rho \leq 400 \text{ kg/m}^3$ - avec spécification de produit) ;
- 5 : enduit (1 cm d'enduit de plâtre)

Figure K 5 – Mur creux isolé (remplissage partiel de la lame d'air)

Couches de construction	Mat. $\lambda_{U,mat}$ W/mK	Joints		Couche λ_U W/mK	Epais. d (m)	$R=d/\lambda_U$ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	$U=1/R_T$ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	Corrections sur la valeur U			$U_c = U + \Sigma(\Delta U)$ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
		f_{joint} (-)	λ_{joint} W/mK					ΔU_{cor} $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	ΔU_g $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	ΔU_f $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	
Surf. ext.						0.040					
1 Façade	1.190	0.28	1.500	1.277	0.09	0.070					
2 lame d'air					0.02	0.090					
3 Plaque MW	0.036			0.036	0.05	1.389					
4 Béton cellul.	0.120			0.120	0.15	1.250					
5 Enduit	0.570			0.570	0.01	0.018					
Surf. int.						0.130					
$R_T =$						2.987	0.335	0.012	0.000	0.011	0.36

Tableau K 5 – Valeur U de mur creux isolé (remplissage partiel – modérément ventilé)

K.1.5 Toit plat isolé (rénovation)



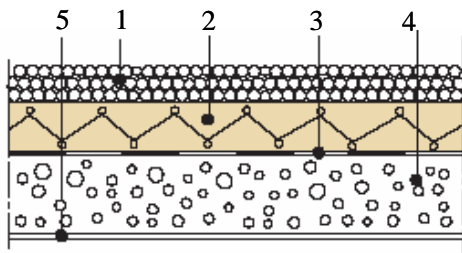
- 1 : lest (couche de gravier) – résistance thermique négligeable
- 2 : membrane bitumineuse (3+4 mm)
- 3 : plaque d'isolation en polyuréthane (2 x 6 cm) – avec spécification de produit – majoration pour tolérances de pose appliquée ΔU_{cor} ($\lambda_{U_{i, isolation}} \leq 0,100 \text{ W/mK}$) ; majoration pour fentes ΔU_g appliquée (niveau 1 de pose constaté) ; majoration pour fixations mécaniques ΔU_f appliquée (acier, 4 pièces par m^2 , diamètre 4 mm) ;
- 4 : pare-vapeur (feutre bitumé – épaisseur 3 mm) ;
- 5 : dalle de béton armé 12 cm (2% d'armature)
- 6 : finition du plafond (1 cm d'enduit)

Figure K 6 – Toit plat isolé (toiture chaude)

Couches de construction	Mat. $\lambda_{U,mat}$ W/mK	Joints		Couche λ_U W/mK	Epais. d (m)	$R=d/\lambda_U$ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	$U=1/R_T$ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	Corrections sur la valeur U			$U_c = U + \Sigma(\Delta U)$ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
		f_{joint} (-)	λ_{joint} W/mK					ΔU_{cor} $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	ΔU_g $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	ΔU_f $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	
Surf. ext.						0.040					
1 Lest											
2 Membrane	0.230			0.230	0.007	0.030					
3 Plaque PUR	0.028			0.028	0.120	4.286					
4 Pare-vapeur	0.230			0.230	0.003	0.013					
5 Dalle béton	2.500			2.500	0.12	0.048					
6 Enduit	0.570			0.570	0.01	0.018					
Surf. int.						0.100					
$R_T =$						4.535	0.221	0.005	0.009	0.015	0.25

Tableau K 6 – Valeur U de toit plat isolé

K.1.6 Toiture inversée isolée



- 1 : lest (couche de gravier) – résistance thermique négligeable
- 2 : plaque d'isolation XPS (12 cm) – avec spécification de produit – majoration pour toiture inversée ΔU_r non appliquée (facteur de correction $C=0,7$ appliqué selon le § 7.4.5.2) – pas de majoration pour fixations mécaniques en raison de la présence de lest) ;
- 3 : membrane bitumineuse (3+4 mm)
- 4 : dalle de béton armé 12 cm (2% d'armature)
- 5 : finition du plafond (1 cm d'enduit)

Figure K 7 – Toiture inversée

Couches de construction	Mat. $\lambda_{U,mat}$ W/mK	Joints		Couche λ_U W/mK	Epais. d (m)	$R=d/\lambda_U$ m^2K/W	$U=1/R_T$ W/m^2K	Corrections sur la valeur U			$U_c = U + \Sigma(\Delta U)$ W/m^2K
		f_{joint} (-)	λ_{joint} W/mK					ΔU_{cor} W/m^2K	ΔU_g W/m^2K	ΔU_r W/m^2K	
Surf. ext.						0.040					
1 Lest											
2 Plaque XPS	0.034			0.034	0.120	$0,7 \times 3,529$					
3 Membrane	0.230			0.230	0.007	0.030					
4 Dalle béton	2.500			2.500	0.12	0.048					
5 Enduit	0.570			0.570	0.01	0.018					
Surf. int.						0.100					
$R_T =$						2.707	0.369	0.000	0.000	0.000	0.37

Tableau K 7 – Valeur U de toiture inversée

K.1.7 Valeur U d'un élément de toiture à couches en pente

Données: Un élément de toiture (16 x 8 m) se compose d'une structure porteuse (dalle de plancher 16 cm d'épaisseur en béton armé à parties creuses) et de plaques d'isolation préfabriquées ($\lambda_{U_i} = 0,040$ W/mK) formant 4 surfaces en pente qui montent vers le centre du toit (voir Figure K 8). Les plaques d'isolation préfabriquées ont, au droit de la rive de toiture, une épaisseur de 0,03 m qui monte jusqu'à un maximum de 0,13 m dans le centre du toit (composition voir Figure K 9).

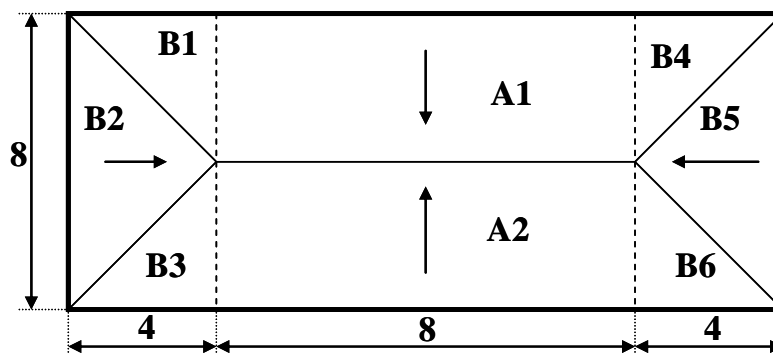


Figure K 8 – Élément de toiture avec couches de construction en pente

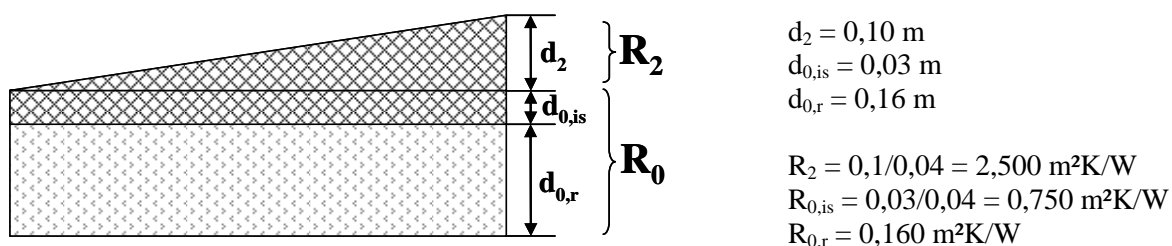


Figure K 9 – Subdivision d'un élément de construction en parties planes et parties en pente

Détermination précise de la valeur U :

- Le toit peut être subdivisé en parties dont la forme correspond aux trois formes de base de 7.5.2 : deux éléments centraux à base rectangulaire (A1 et A2) et six éléments d'angle à base triangulaire et dont la partie la plus épaisse de l'isolation se trouve à l'angle supérieur (B1 à B6).
- On peut calculer la résistance thermique totale (d'environnement à environnement) de l'ensemble de chaque élément de toiture mais sans la partie en pente de la couche d'isolation, comme suit:
 $R_0 = R_{si} + R_{0,is} + R_{0,r} + R_{se} = 0,100 + 0,160 + 0,750 + 0,040 = 1,050 \text{ m}^2\text{K/W}$

- La valeur U des éléments centraux peut être déterminée suivant l'expression (25) de 7.5.3 :

$$U = \frac{1}{R_2} \cdot \ln \left[1 + \frac{R_2}{R_0} \right] = \frac{1}{2,5} \cdot \ln \left[1 + \frac{2,5}{1,05} \right] = 0,49 \quad \text{W/m}^2\text{K}$$

- La valeur U des éléments d'angle peut être déterminée suivant l'expression (26) de 7.5.3 :

$$U = \frac{2}{R_2} \cdot \left[\left(1 + \frac{R_0}{R_2} \right) \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - 1 \right] = \frac{2}{2,5} \cdot \left[\left(1 + \frac{1,05}{2,5} \right) \cdot \ln \left(1 + \frac{2,5}{1,05} \right) - 1 \right] = 0,58 \quad \text{W/m}^2\text{K}$$

- La valeur U moyenne pondérée par la surface de l'ensemble de la toiture peut ensuite être déterminée comme suit:

$$U = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{(0,49 \times 8 \times 8) + (0,58 \times 8 \times 8)}{(8 \times 8) + (8 \times 8)} = 0,54 \quad \text{W/m}^2\text{K}$$

- En tenant compte de la correction pour les tolérances de mesure et de pose, la valeur U corrigée est finalement donnée par : $U_c = U + \Delta U_{cor} = 0,54 + 0,03 = 0,57 \quad \text{W/m}^2\text{K}$

avec : $\Delta U_{cor} = \frac{1}{R_T - 0,1} - \frac{1}{R_T} = \frac{1}{1/0,57 - 0,1} - \frac{1}{1/0,57} = 0,03$

Détermination simplifiée de la valeur U :

La détermination simplifiée de la valeur U ne tient pas compte de la résistance thermique (R_2) de la partie en pente de l'isolation. Cela veut dire que la résistance thermique totale (d'environnement à environnement) pour la surface totale de la toiture, est déterminée par R_0 comme calculée ci-avant et que dès lors la valeur U est donnée par : $U = 1/R_0 = 1/1,05 = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$.

En tenant compte des tolérances de mesure et de pose, la valeur U corrigée est donnée par :

$$U_c = U + \Delta U_{cor} = 0,95 + 0,10 = 1,05 \quad \text{W/m}^2\text{K}$$

avec : $\Delta U_{cor} = \frac{1}{R_T - 0,1} - \frac{1}{R_T} = \frac{1}{1/1,05 - 0,1} - \frac{1}{1/1,05} = 0,10$

NOTE 1 La pente de toiture est de 10 cm par 4 mètres, ce qui correspond à 2,5% (la méthode de calcul est valable pour les pentes de toiture qui ne sont pas supérieures à 5%).

NOTE 2 Si le calcul de la valeur U de la toiture devait être basé sur une épaisseur moyenne de la couche d'isolation, le résultat des calculs fournirait une valeur peu sûre. En effet, l'épaisseur moyenne de la couche d'isolation (partie en pente) est de $0,10/2 = 0,05 \text{ m}$.

La résistance thermique totale correspondant à cette épaisseur d'isolation est de:

$$R_T = R_{si} + R_{0,is} + R_{0,r} + R'_2 + R_{se} = 0,100 + 0,160 + 0,750 + 0,05/0,040 + 0,040 = 2,300 \text{ m}^2\text{K/W}$$

et donc : $U = 1/R_T = 1/2,30 = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$

Cela représente une sous-estimation de la valeur U d'environ 20% par rapport à la méthode de calcul correcte !

K.2 Valeur U de parois à couches de construction non homogènes

K.2.1 Application de la méthode de calcul

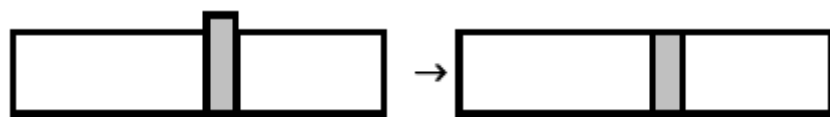
Pour les éléments de bâtiment composés de couches de construction homogènes et non homogènes, on peut calculer la valeur U de manière simplifiée sur la base de l'expression (5) de 6.1, c.-à-d. que la résistance thermique totale de l'élément de construction est déterminée comme la somme des résistances thermiques moyennes de chaque couche. La résistance thermique totale ainsi calculée (R_T) de l'élément de construction fournit, dans ce cas, une limite inférieure (R''_T) qui correspond à une valeur U défavorable. Cette détermination s'indique pour les calculs qui visent à un résultat sûr (p. ex. les calculs de déperditions calorifiques en vue du dimensionnement des installations).

On obtient un calcul plus précis en appliquant la méthode de calcul décrite dans le § 6.2, qui impose de calculer non seulement la limite inférieure de la résistance thermique (R''_T), mais aussi la limite supérieure (R'_T). Cette dernière s'obtient en calculant une valeur R (d'environnement à environnement) pour chaque combinaison possible de couches de construction présentes dans l'élément de construction (en fait, une connexion en parallèle de la résistance thermique de chaque couche de construction dans le sens du flux thermique) et en additionnant proportionnellement ces valeurs.

On part de l'hypothèse que la moyenne arithmétique de la limite inférieure et de la limite supérieure de la résistance thermique totale de l'élément de construction est une base correcte pour déterminer la valeur U réelle.

Cette méthode de calcul ne s'applique pas aux éléments de construction qui contiennent d'importants ponts thermiques dont l'effet est élevé (p. ex. des couches d'isolation perforées par des fixations métalliques). De même, toutes les parois en contact avec le sol ne rentrent pas dans le champ d'application de cette méthode de calcul.

En utilisant cette méthode de calcul, on peut, le cas échéant, simplifier le modèle de l'élément de construction à condition que la résistance thermique totale de cet élément n'en soit pas augmentée (hypothèse de sécurité). La Figure K 10 présente l'exemple d'un élément de construction en saillie (p. ex. un chevron en bois qui dépasse au-dessus ou en-dessous d'une couche d'isolation), qui peut être simplifié en supposant l'épaisseur du chevron égale à celle de la couche d'isolation (la partie en saillie n'est pas prise en compte).



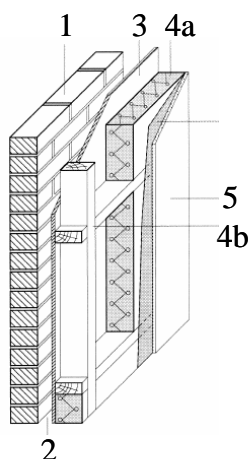
(la poutre en saillie est supposée ne pas dépasser la couche d'isolation)

Figure K 10 – Simplification de l'élément de construction

L'application de la méthode de calcul est expliquée dans les exemples ci-après.

K.2.2 Exemple 1 : paroi à ossature bois

Dans l'exemple de la paroi à ossature bois demi-lourde isolée de la Figure K 11, deux couches non homogènes sont présentes: le parement (maçonnerie combinée de brique de parement et de joint de mortier) et le mur porteur (combinaison de couche d'isolation et d'ossature en bois).



- 1 : maçonnerie (9 cm)
- 2 : lame d'air non ventilée (5 cm)
- 3 : plaque étanche à la vapeur (12 mm)
- 4a : couche d'isolation (plaque de laine minérale 6 cm – avec spécification de produit)
- 4b : ossature bois (6 cm) – fraction de bois = 15%
- 5 : plaque de carton-plâtre (12 mm)

Pas besoin de corrections ni de majorations, ni pour les tolérances de pose ni pour les fixations mécaniques.

Figure K 11 – Exemple de paroi à ossature bois demi-lourde

Les caractéristiques des couches de construction sont résumées au tableau suivant:

Numéro de couche	Matériau et pourcentage de surface (fraction)		Epaisseur d (m)	Valeur λ_{U_i} (W/mK)	R (= d/ λ_{U_i}) (m ² K/W)
	Matériau	f (%)			
1a	Brique parement (210 x 90 x 65 mm)	80	0,09	1,100	0,082
1b	Joint de mortier (12 mm)	20	0,09	1,500	0,060
2	Lame d'air non ventilée	100	0,05	-	0,180
3	Plaque étanche à la vapeur	100	0,012	0,170	0,071
4a	Isolation ($\lambda_{U_i} = 0,04$)	85	0,06	0,040	1,500
4b	Ossature bois ($\lambda_{U_i} = 0,13$)	15	0,06	0,130	0,462
5	Plaque de carton-plâtre	100	0,012	0,250	0,048
<ul style="list-style-type: none"> • $R_{si} = 0,13$ m²K/W (flux thermique horizontal – voir Tableau 1) • $R_{se} = 0,04$ m²K/W (flux thermique horizontal – voir Tableau 1) 					

Tableau K 8 – Résistances thermiques des couches de construction de la paroi à ossature bois

Limite supérieure de la résistance thermique totale (R'_T)

On détermine la limite supérieure de la résistance thermique totale en calculant une résistance thermique totale pour chaque combinaison possible de couches de construction (dans le sens du flux thermique) et en additionnant ces résistances en fonction de leur fraction présente ou de leur pourcentage dans la surface.

Dans l'exemple envisagé, il y a 4 sections (ou voies) différentes possibles par lesquelles le flux thermique peut s'écouler et pour lesquelles on peut calculer séparément une résistance thermique totale. On peut calculer une résistance thermique totale pour les combinaisons suivantes de couches de construction:

- à travers parement et isolation ($R_{g,i}$) : 1a – 2 – 3 – 4a – 5
- à travers parement et bois ($R_{g,h}$) : 1a – 2 – 3 – 4b – 5
- à travers joint de mortier et isolation ($R_{m,i}$) : 1b – 2 – 3 – 4a – 5
- à travers joint de mortier et bois ($R_{m,h}$) : 1b – 2 – 3 – 4b – 5

Lorsqu'on calcule ces résistances thermiques totales, on inclut aussi dans le calcul les résistances thermiques d'échange à la surface intérieure et à la surface extérieure (respectivement R_{si} et R_{se}).

Résistance thermique totale via la brique de parement et l'isolation ($R_{g,i}$) (couches 1a – 2 – 3 – 4a – 5)

- résistance thermique d'échange à la surface extérieure (R_{se}) 0,040
- résistance thermique de la brique de parement (couche 1a) 0,082 fraction: 80%
- résistance thermique de la lame d'air (couche 2) 0,180
- résistance thermique de la plaque étanche à la vapeur (couche 3) 0,071

• résistance thermique de l'isolation (couche 4a)	1,500	fraction: 85%
• résistance thermique de la plaque de carton-plâtre (couche 5)	0,048	
• résistance thermique d'échange à la surface intérieure (R_{si})	0,130	
Résistance thermique totale :	$R_{g,i} =$	2,050 m^2K/W
Fraction correspondante:	$f_{g,i} =$	0,80 x 0,85 = 0,680

Résistance thermique totale via la brique de parement et le bois ($R_{g,h}$) (couches 1a – 2 – 3 – 4b – 5)

• résistance thermique d'échange à la surface extérieure (R_{se})	0,040	
• résistance thermique de la brique de parement (couche 1a)	0,082	fraction: 80%
• résistance thermique de la lame d'air (couche 2)	0,180	
• résistance thermique de la plaque étanche à la vapeur (couche 3)	0,071	
• résistance thermique du bois (couche 4b)	0,462	fraction: 15%
• résistance thermique de la plaque de carton-plâtre (couche 5)	0,048	
• résistance thermique d'échange à la surface intérieure (R_{si})	0,130	
Résistance thermique totale :	$R_{g,h} =$	1,012 m^2K/W
Fraction correspondante:	$f_{g,h} =$	0,80 x 0,15 = 0,120

Résistance thermique totale via le joint de mortier et l'isolation ($R_{m,i}$) (couches 1b – 2 – 3 – 4a – 5)

• résistance thermique d'échange à la surface extérieure (R_{se})	0,040	
• résistance thermique du joint de mortier (couche 1b)	0,060	fraction: 20%
• résistance thermique de la lame d'air (couche 2)	0,180	
• résistance thermique de la plaque étanche à la vapeur (couche 3)	0,071	
• résistance thermique de l'isolation (couche 4a)	1,500	fraction: 85%
• résistance thermique de la plaque de carton-plâtre (couche 5)	0,048	
• résistance thermique d'échange à la surface intérieure (R_{si})	0,130	
Résistance thermique totale :	$R_{m,i} =$	2,029 m^2K/W
Fraction correspondante:	$f_{m,i} =$	0,20 x 0,85 = 0,170

La résistance thermique totale à travers le joint de mortier et le bois ($R_{m,h}$) (couches 1b – 2 – 3 – 4b – 5)

• résistance thermique d'échange à la surface extérieure (R_{se})	0,040	
• résistance thermique du joint de mortier (couche 1b)	0,060	fraction: 20%
• résistance thermique de la lame d'air (couche 2)	0,180	
• résistance thermique de la plaque étanche à la vapeur (couche 3)	0,071	
• résistance thermique du bois (couche 4b)	0,462	fraction: 15%
• résistance thermique de la plaque de carton-plâtre (couche 5)	0,048	
• résistance thermique d'échange à la surface intérieure (R_{si})	0,130	
Résistance thermique totale :	$R_{m,h} =$	0,990 m^2K/W
Fraction correspondante:	$f_{m,h} =$	0,20 x 0,15 = 0,030

La limite supérieure de la résistance thermique totale est donnée par (voir 6.2.3):

$$R'_T = \frac{1}{\frac{f_{g,i}}{R_{g,i}} + \frac{f_{g,h}}{R_{g,h}} + \frac{f_{m,i}}{R_{m,i}} + \frac{f_{m,h}}{R_{m,h}}} = \frac{1}{\frac{0,680}{2,050} + \frac{0,120}{1,012} + \frac{0,170}{2,029} + \frac{0,030}{0,990}} = 1,772 \quad m^2K/W$$

Limite inférieure de la résistance thermique totale (R''_T)

On détermine la limite inférieure de la résistance thermique totale en calculant la résistance thermique moyenne pour toutes les couches de construction et en les additionnant ensuite.

Dans l'exemple considéré, la valeur inférieure de la résistance thermique totale est calculée comme suit:

Résistance thermique totale pour les couches: (1a+1b) – 2 – 3 – (4a+4b) – 5

- résistance thermique d'échange à la surface extérieure (R_{se}) 0,040
- résistance thermique brique de parement + joint de mortier (1a+1b) 0,076

$$R_{g,m} = \frac{1}{\frac{f_g}{R_g} + \frac{f_m}{R_m}} = \frac{1}{\frac{0,8}{0,082} + \frac{0,2}{0,06}} = 0,076$$

- résistance thermique de la lame d'air (couche 2) 0,180
- résistance thermique de la plaque étanche à la vapeur (couche 3) 0,071
- résistance thermique de l'isolation + du bois (4a+4b) 1,121

$$R_{i,h} = \frac{1}{\frac{f_i}{R_i} + \frac{f_h}{R_h}} = \frac{1}{\frac{0,85}{1,5} + \frac{0,15}{0,462}} = 1,121$$

- résistance thermique de la plaque de carton-plâtre (couche 5) 0,048
- résistance thermique d'échange à la surface intérieure (R_{si}) 0,130

Résistance thermique totale (limite inférieure): $R''_T = 1,666 \text{ m}^2\text{K/W}$

Résistance thermique totale (R_T) et valeur U

La résistance thermique totale de la paroi à ossature bois est la valeur moyenne arithmétique de la limite inférieure et de la limite supérieure, calculée suivant ;

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} = \frac{1,772 + 1,666}{2} = 1,719 \text{ m}^2\text{K/W}$$

La valeur U est alors donnée par : $U = 1/R_T = 1/1,719 = 0,58 \text{ W/m}^2\text{K}$

La valeur corrigée : $U_c = U + \Delta U_{cor} = 0,58 + 0,04 = 0,62 \text{ W/m}^2\text{K}$

avec : $\Delta U_{cor} = \frac{1}{R_T - 0,1} - \frac{1}{R_T} = \frac{1}{1/0,58 - 0,1} - \frac{1}{1/0,58} = 0,04$

Erreur relative

L'erreur relative maximale commise sur ce calcul est donnée par :

$$e = \frac{100 \cdot (R'_T - R''_T)}{2 \cdot R_T} = \frac{100 \cdot (1,772 - 1,666)}{2 \cdot 1,719} = 3,08 \%$$

NOTE Si, de manière simplifiée, on ne calcule que la limite inférieure de la résistance thermique totale ($R''_T = 1,666 \text{ m}^2\text{K/W}$), on obtient une valeur U plus défavorable : $U = 1/R''_T = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$.

La valeur corrigée : $U_c = U + \Delta U_{cor} = 0,60 + 0,04 = 0,64 \text{ W/m}^2\text{K}$

avec : $\Delta U_{cor} = \frac{1}{R_T - 0,1} - \frac{1}{R_T} = \frac{1}{1/0,60 - 0,1} - \frac{1}{1/0,60} = 0,04$

K.2.3 Exemple 2 : Toiture inclinée isolée en structure de bois

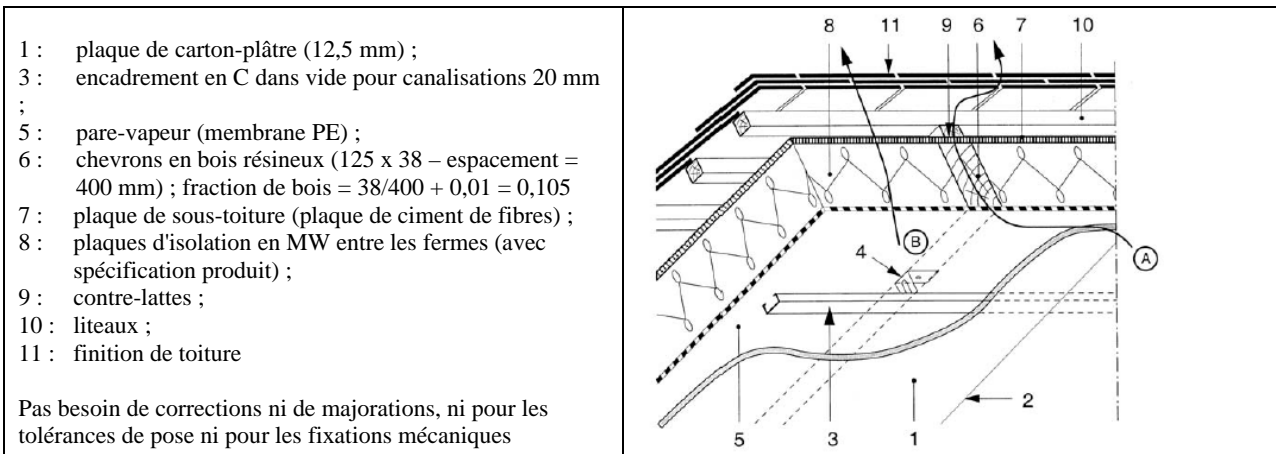


Figure K 12 – Exemple d'isolation de toiture (entre les fermes)

Les caractéristiques des couches de construction sont résumées au tableau suivant:

Numéro de couche	Matériau et pourcentage de surface (fraction)		Epaisseur d (m)	Valeur λ_U (W/mK)	R (= d/ λ_U) (m ² K/W)
	Matériau	f (%)			
-	Finition de toiture + contre-lattes et liteaux dans lame d'air fortement ventilée		-	-	-
1	Panneau de fibres liées au ciment		0,003	0,500	0,006
2a	Chevrons 125 x 38 (espacement 400)		0,125	0,130	0,962
2b	isolation MW entre chevrons		0,120	0,040	3,000
3	Vide pour canalisations		0,030	-	0,160
4	Plaque de carton-plâtre		0,012	0,250	0,048
<ul style="list-style-type: none"> • $R_{si} = 0,10$ m²K/W (flux thermique ascendant – voir Tableau 1) • $R_{se} = R_{si}$ (lame d'air fortement ventilée – voir 5.4.3.4) 					

Tableau K 9 – Résistances thermiques des couches de construction du toit

Limite supérieure de la résistance thermique totale (R'_T)

Dans l'exemple envisagé, il n'y a que 2 voies différentes possibles (A et B à la Figure K 12) par lesquelles le flux thermique peut s'écouler et pour lesquelles on peut calculer séparément une résistance thermique totale.

- A: à travers le bois (R_{bois}) : 1 – 2a – 3 – 4
- B: à travers l'isolation (R_{isol}) : 1 – 2b – 3 – 4

La résistance thermique totale à travers le bois (R_{bois}) (couches 1 – 2a – 3 – 4)

- | | | |
|---|--------------------|--------------------|
| • résistance thermique d'échange à la surface extérieure (R_{si}) | 0,100 | |
| • résistance thermique du panneau de fibres (couche 1) | 0,006 | |
| • résistance thermique du bois (couche 2a) | 0,962 | fraction: 10,5 % |
| • résistance thermique de la lame d'air des canalisations (couche 3) | 0,160 | |
| • résistance thermique de la plaque de carton-plâtre (couche 4) | 0,048 | |
| • résistance thermique d'échange à la surface intérieure (R_{si}) | 0,100 | |
| Résistance thermique totale : | $R_{bois} =$ 1,376 | m ² K/W |
| Fraction correspondante: | $f_b =$ 0,105 | |

La résistance thermique totale à travers l'isolation (R_{isol}) (couches 1 – 2b – 3 – 4)

- | | |
|---|-------|
| • résistance thermique d'échange à la surface extérieure (R_{si}) | 0,100 |
| • résistance thermique du panneau de fibres (couche 1) | 0,006 |

NBN B 62-002 (2008)

• résistance thermique de l'isolation (couche 2b)	3,000	fraction: 89,5 %
• résistance thermique de la lame d'air des canalisations (couche 3)	0,160	
• résistance thermique de la plaque de carton-plâtre (couche 4)	0,048	
• résistance thermique d'échange à la surface intérieure (R_{si})	0,100	
Résistance thermique totale :	$R_i =$	3,414 m^2K/W
Fraction correspondante:	$f_i =$	0,895

La limite supérieure de la résistance thermique totale est donnée par (voir 6.2.3):

$$R'_T = \frac{1}{\frac{f_b}{R_{bois}} + \frac{f_i}{R_{isol}}} = \frac{1}{\frac{0,105}{1,376} + \frac{0,895}{3,414}} = 2,954 \quad m^2K/W$$

Limite inférieure de la résistance thermique totale (R''_T)

Dans l'exemple considéré, la limite inférieure de la résistance thermique totale est calculée comme suit:

La résistance thermique totale pour les couches: 1 – (2a+2b) – 3 – 4

• résistance thermique d'échange à la surface extérieure (R_{se})	0,100
• résistance thermique du panneau de fibres (couche 1)	0,006
• résistance thermique de l'isolation + du bois (couches 2a+2b)	2,454
$R_{b,i} = \frac{1}{\frac{f_b}{R_{bois}} + \frac{f_i}{R_{is}}} = \frac{1}{\frac{0,105}{0,962} + \frac{0,895}{3,000}} = 2,454 \quad m^2K/W$	
• résistance thermique de la lame d'air des canalisations (couche 3)	0,160
• résistance thermique de la plaque de carton-plâtre (couche 4)	0,048
• résistance thermique d'échange à la surface intérieure (R_{si})	0,100

Résistance thermique totale (limite inférieure): $R''_T = 2,868 \quad m^2K/W$

Résistance thermique totale (R_T) et valeur U

La résistance thermique totale de la paroi à ossature bois est la valeur moyenne arithmétique de la limite inférieure et de la limite supérieure, calculée suivant :

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} = \frac{2,954 + 2,868}{2} = 2,911 \quad m^2K/W$$

La valeur U est alors donnée par : $U = 1/R_T = 1/2,911 = 0,34 \quad W/m^2K$

Valeur U corrigée: $U_c = U + \Delta U_{cor} = 0,34 + 0,01 = 0,35 \quad W/m^2K$

$$\text{avec :} \quad \Delta U_{cor} = \frac{1}{R_T - 0,1} - \frac{1}{R_T} = \frac{1}{1/0,34 - 0,1} - \frac{1}{1/0,34} = 0,01$$

Erreur relative

L'erreur relative maximale commise sur ce calcul est donnée par :

$$e = \frac{100.(R'_T - R''_T)}{2.R_T} = \frac{100.(2,954 - 2,868)}{2.2,911} = 1,49 \quad \%$$

NOTE Si, de manière simplifiée, on ne calcule que la limite inférieure de la résistance thermique totale ($R''_T = 2,868 \quad m^2K/W$), on obtient une valeur U plus grande ou sûre : $U = 1/R''_T = 0,35 \quad W/m^2K$.

Valeur U corrigée : $U_c = U + \Delta U_{cor} = 0,35 + 0,01 = 0,36 \quad W/m^2K$

$$\text{avec :} \quad \Delta U_{cor} = \frac{1}{R_T - 0,1} - \frac{1}{R_T} = \frac{1}{1/0,35 - 0,1} - \frac{1}{1/0,35} = 0,01$$

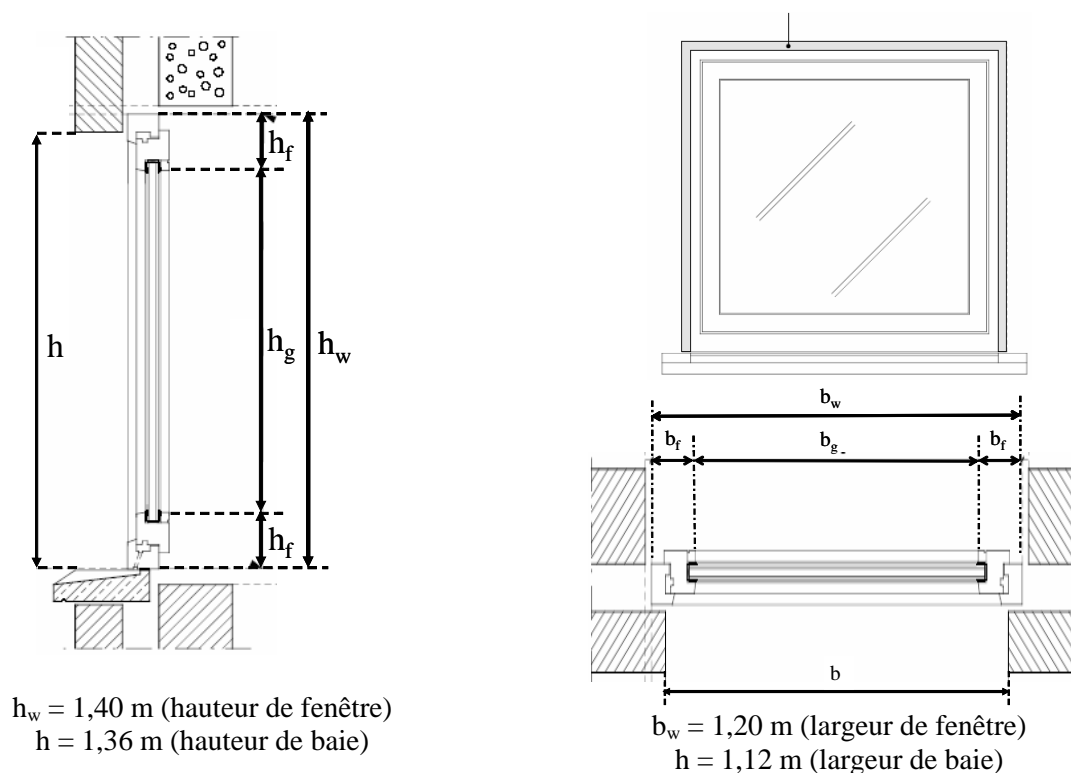
K.3 Valeur U_w des fenêtres

K.3.1 Généralités

Les exemples suivants ont pour but de calculer la valeur U_w d'une fenêtre de mêmes dimensions (120 x 140 cm – voir Figure K 13), selon les trois méthodes suivantes :

1. un calcul numérique précis selon la norme NBN EN ISO 10077-2 et NBN EN ISO 10211, basé sur les données exactes de tous les composants de la fenêtre et qui fournit, en principe, la valeur U_w la plus favorable ;
2. un calcul simplifié, où les caractéristiques des composants de fenêtre non connues ont été déterminées sur la base de valeurs tabulées, tel qu'indiqué en annexe E (vitrage), annexe F (profilés d'encadrement) et annexe G (jonctions) ;
3. une détermination simplifiée basée sur la formule simplifiée de 9.5 ou des valeurs tabulées de l'annexe D, si on ne connaît pas d'informations précises sur les composants de fenêtre.

Tous les exemples des calculs concernent des fenêtres simples normales à géométrie simple et non équipées de grilles de ventilation ou de panneaux opaques.



- h_g et h_f (m) : hauteur respective du vitrage et de l'encadrement (variable)
- b_g et b_f (m) : largeur respective du vitrage et de l'encadrement (variable)

Figure K 13 – Dimensions de la fenêtre simple de l'exemple de calcul

En outre, on a supposé, pour toutes les fenêtres, que les profilés d'encadrement étaient constructivement identiques de tous les côtés de la fenêtre, c.-à-d. que $h_f = b_f$ (voir Figure K 13). Les exemples de calcul concernent une fenêtre avec un encadrement en bois, aluminium ou plastique, combinée avec un double vitrage avec remplissage d'air, d'argon ou de krypton et équipée d'une couche réfléchissante. De la sorte, l'utilisation des tableaux des annexes E, F et G est illustrée de manière didactique.

K.3.2 Encadrement en bois

K.3.2.1 Calcul numérique précis

Données:

- encadrement en bois (feuillus) – épaisseur de l’encadrement $d_f = 55 \text{ mm}$;
- double vitrage amélioré (4-16-4) avec remplissage d’air, couche réfléchissante sur 1 vitre, facteur d’émission = 0,05 et intercalaire normal ;
- dimensions des composants de fenêtre connues (voir Tableau K 10)

Encadrement	Vitrage				Encadrement			Fenêtre		
	h_g (m)	b_g (m)	A_g (m ²)	l_g (m)	h_f (m)	b_f (m)	A_f (m ²)	h_w (m)	b_w (m)	A_w (m ²)
Bois	1,138	0,938	1,0674 (64%)	4,152	0,131	0,131	0,6126 (36%)	1,40	1,20	1,68 (100%)

Tableau K 10 – Dimensions des composants de fenêtre (encadrement en bois)

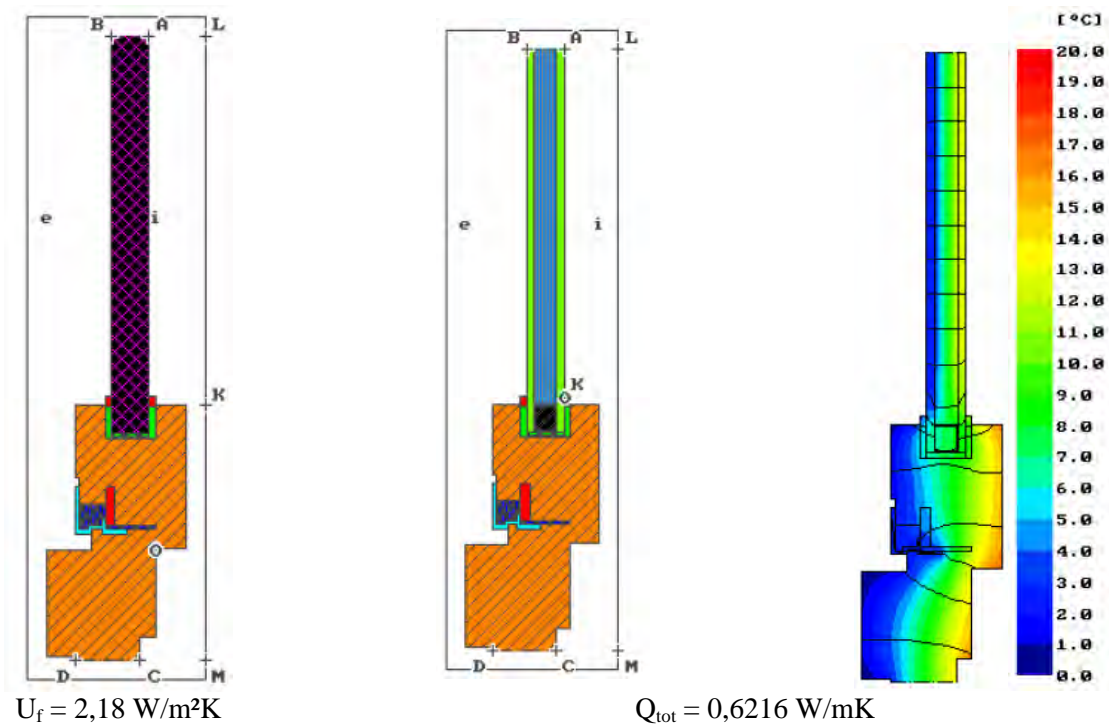


Figure K 14 – Calcul numérique de fenêtre à encadrement en bois (modèle de calcul bidimensionnel)

Valeur U de l’encadrement (numérique selon la norme NBN EN ISO 10077-2 – Figure K 14 à gauche)

$$U_f = 2,18 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (l_{f,model} = 0,131 \text{ m})$$

Valeur U du vitrage (déclarée par le fabricant)

$$U_g = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (l_{g,model} = 0,19 \text{ m})$$

Jonction vitre-encadrement (calcul numérique selon la norme NBN EN ISO 10211 – Figure K 14 à droite)

$$\Psi_{f,g} = Q_{tot} - (U_f \cdot l_{f,model} + U_g \cdot l_{g,model}) = 0,6216 - (2,18 \cdot 0,131 + 1,4 \cdot 0,19) = 0,070 \text{ W/mK}$$

Valeur U de la fenêtre, selon l’expression (32)

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \Psi_{f,g}}{A_g + A_f} = \frac{1,0674 \cdot 1,4 + 0,6126 \cdot 2,18 + 4,152 \cdot 0,07}{1,0674 + 0,6126} = 1,86 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Déperdition thermique par la fenêtre (attention: détermination de l’aire avec les ouvertures de baie!)

$$H_{Dw} = U_w \cdot (h \times b) = 1,86 \cdot 1,12 \cdot 1,36 = 2,83 \text{ W/K}$$

K.3.2.2 Méthode de calcul simplifiée (avec valeurs tabulées des annexes E, F et G)Données:

- encadrement en bois (espèce de bois non connue - épaisseur de l'encadrement non connue ;
- double vitrage amélioré (4-16-4) avec couche réfléchissante ($\varepsilon_n = 0,05$) ;
- dimensions des composants de fenêtre non connues

Valeur U de l'encadrement (selon le Tableau F 1 – prendre la plus petite épaisseur de l'encadrement et la valeur pour les feuillus)

$$U_f = 2,36 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Valeur U du vitrage (selon le Tableau E 1 – prendre la valeur pour double vitrage, remplissage d'air et $\varepsilon_n = 0,05$)

$$U_g = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Jonction verre-encadrement (selon le Tableau G 1 – prendre la valeur pour intercalaire normal)

$$\Psi_{f,g} = 0,08 \text{ W/mK}$$

Valeur U de la fenêtre (selon annexe D – prendre la formule simplifiée pour $U_g < U_f$)

$$U_{w,T} = 0,7 \cdot U_g + 0,3 \cdot U_f + 3 \cdot \Psi_{f,g} = 0,7 \cdot 1,4 + 0,3 \cdot 2,36 + 3 \cdot 0,08 = 1,93 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Déperdition thermique par la fenêtre (attention: détermination de l'aire avec les ouvertures de baie!)

$$H_{Dw} = U_{w,T} \cdot (b \times h) = 1,93 \cdot 1,12 \cdot 1,36 = 2,94 \text{ W/K}$$

K.3.3 Encadrement en aluminium

K.3.3.1 Calcul numérique précis

Données:

- encadrement en aluminium avec coupure thermique ($\lambda = 0,15 \text{ W/mK}$ en $d = 9 \text{ mm}$) ;
- double vitrage amélioré (4-16-4) rempli d'argon, avec intercalaire normal ($\lambda = 0,15$) et avec couche réfléchissante sur 1 vitre (facteur d'émission = 0,05) ;
- dimensions des composants de fenêtre (voir Tableau K 11)

Encadrement	Vitrage				Encadrement			Fenêtre		
	h_g (m)	b_g (m)	A_g (m ²)	l_g (m)	h_f (m)	b_f (m)	A_f (m ²)	h_w (m)	b_w (m)	A_w (m ²)
Aluminium	1,284	1,084	1,3919 (83%)	4,736	0,058	0,058	0,2881 (17%)	1,40	1,20	1,68 (100%)

Tableau K 11 – Dimensions des composants de fenêtre (encadrement en aluminium)

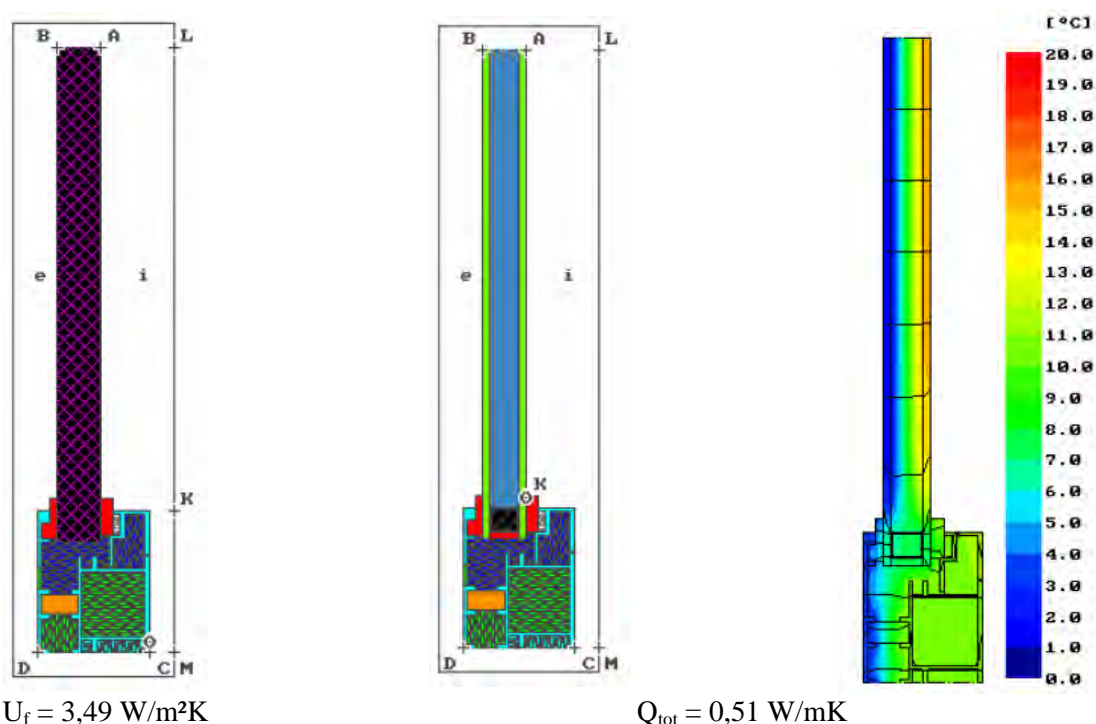


Figure K 15 – Calcul numérique de fenêtre avec encadrement en aluminium (modèle de calcul bidimensionnel)

Valeur U de l'encadrement (calcul numérique selon la norme NBN EN ISO 10077-2 – Figure K 15 à gauche)

$$U_f = 3,49 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (l_{f,model} = 0,058 \text{ m})$$

Valeur U du vitrage (déclarée par le fabricant)

$$U_g = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (l_{g,model} = 0,19 \text{ m})$$

Jonction vitre-encadrement (calcul numérique selon la norme NBN EN ISO 10211 – Figure K 15 à droite)

$$\Psi_{f,g} = Q_{tot} - (U_f \cdot l_{f,model} + U_g \cdot l_{g,model}) = 0,51 - (3,49 \cdot 0,058 + 1,2 \cdot 0,19) = 0,08 \text{ W/mK}$$

Valeur U de la fenêtre, selon l'expression (32)

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \Psi_{f,g}}{A_g + A_f} = \frac{1,3919 \cdot 1,2 + 0,2881 \cdot 3,49 + 4,736 \cdot 0,08}{1,3919 + 0,2881} = 1,82 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Déperdition thermique par la fenêtre (attention: détermination de l'aire avec les ouvertures de baie!)

$$H_{Dw} = U_w \cdot (b \times h) = 1,82 \cdot 1,12 \cdot 1,36 = 2,77 \text{ W/K}$$

K.3.3.2 Méthode de calcul précise alternative (avec valeurs tabulées des annexes E, F et G)

Données:

- encadrement en aluminium avec coupure thermique ($\lambda = 0,15$ W/mK, largeur de coupure $b_j = 8$ mm, distance entre profilés d'encadrement $d = 9$ mm) ;
- double vitrage amélioré (4-16-4) rempli d'argon, avec intercalaire normal ($\lambda = 0,15$) et avec couche réfléchissante sur 1 vitre (facteur d'émission = 0,05) ;
- dimensions des composants de fenêtre connues (voir Tableau K 11)

Valeur U de l'encadrement (selon le Tableau F 2 – plus petite distance entre profilés d'encadrement $d = 9$ mm)

Le Tableau F 2 est valable étant donné que le matériau de la coupure thermique a une valeur λ de 0,15 W/mK et que la largeur de la coupure ($b_j = 8$ mm) est inférieure à 0,3 fois la largeur de l'encadrement b_f ($b_j < 0,3 \times 58 = 17,4$ mm). Pour un espacement entre profilés d'encadrement de $d = 9$ mm, $U_{fo} = 3,46$ W/m²K.

Si l'on suppose que les rapports entre surface projetée et surface développée à l'intérieur et à l'extérieur de l'encadrement en aluminium sont égaux aux rapports entre les longueurs correspondantes du modèle bidimensionnel, on peut calculer la valeur U_f selon le § F 2.1 suivant :

$$U_f = \frac{1}{\frac{R_{si} \cdot b_{f,i}}{b_{d,i}} + \frac{1}{U_{fo}} - 0,17 + \frac{R_{se} \cdot b_{f,e}}{b_{d,e}}} = \frac{1}{\frac{0,13.58}{73} + \frac{1}{3,46} - 0,17 + \frac{0,04.58}{63}} = 3,86 \text{ W/m}^2\text{K}$$

où :
 $b_{f,i} = 58$ mm : la largeur projetée de l'encadrement du côté intérieur ;
 $b_{d,i} = 58 + 15 = 73$ mm : la largeur développée de l'encadrement du côté intérieur ;
 $b_{f,e} = 58$ mm : la largeur projetée de l'encadrement du côté extérieur ;
 $b_{d,e} = 58 + 5 = 63$ mm : la largeur développée de l'encadrement du côté extérieur ;

Valeur U du vitrage (selon le Tableau E 1 – valeur pour un double vitrage à remplissage d'argon et à couche réfléchissante avec $\varepsilon_n = 0,05$)

$$U_g = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Jonction vitre-encadrement (selon le Tableau G 1 – valeur pour intercalaire normal)

$$\Psi_{f,g} = 0,11 \text{ W/mK}$$

Valeur U de la fenêtre, selon l'expression (32)

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \Psi_{f,g}}{A_g + A_f} = \frac{1,3919 \cdot 1,2 + 0,2881 \cdot 3,86 + 4,736 \cdot 0,11}{1,3919 + 0,2881} = 1,97 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Déperdition thermique par la fenêtre (attention: détermination de l'aire avec les ouvertures de baie!)

$$H_{Dw} = U_w \cdot (b \times h) = 1,97 \cdot 1,12 \cdot 1,36 = 3,00 \text{ W/K}$$

K.3.3.3 Méthode de calcul simplifiée (selon les valeurs tabulées de l'annexe D)

Si l'on ne connaît pas les dimensions exactes des composants de fenêtre, on peut utiliser la valeur $U_{w,T}$ simplifiée de l'annexe D, sur la base d'une valeur par défaut pour l'encadrement. Dans le Tableau F 2, nous lisons pour $d = 9$ mm : $U_f = 4,35$ W/m²K.

Etant donné que $U_g < U_f$, la formule s'applique (voir aussi le Tableau D 1) :

$$U_{w,T} = 0,7 \cdot U_g + 0,3 \cdot U_f + 3 \cdot \Psi_{f,g} = 0,7 \cdot 1,2 + 0,3 \cdot 4,35 + 3 \cdot 0,11 = 2,48 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$H_{Dw} = U_{w,T} \cdot (b \times h) = 2,48 \cdot 1,12 \cdot 1,36 = 3,78 \text{ W/K}$$

K.3.4 Encadrement en plastique

K.3.4.1 Calcul numérique précis

Données:

- encadrement en plastique (PVC), deux chambres dans le sens du flux thermique ;
- double vitrage amélioré (4-12-4) avec remplissage de krypton et couche réfléchissante avec facteur d'émission = 0,05 et avec intercalaire amélioré ;
- dimensions des composants de fenêtre (voir Tableau K 12)

Encadrement	Vitrage				Encadrement			Fenêtre		
	h _g (m)	b _g (m)	A _g (m ²)	l _g (m)	h _f (m)	b _f (m)	A _f (m ²)	h _w (m)	b _w (m)	A _w (m ²)
PVC	1,166	0,966	1,1264 (67%)	4,264	0,117	0,117	0,5536 (33%)	1,40	1,20	1,68 (100%)

Tableau K 12 – Dimensions des composants de fenêtre (encadrement en PVC)

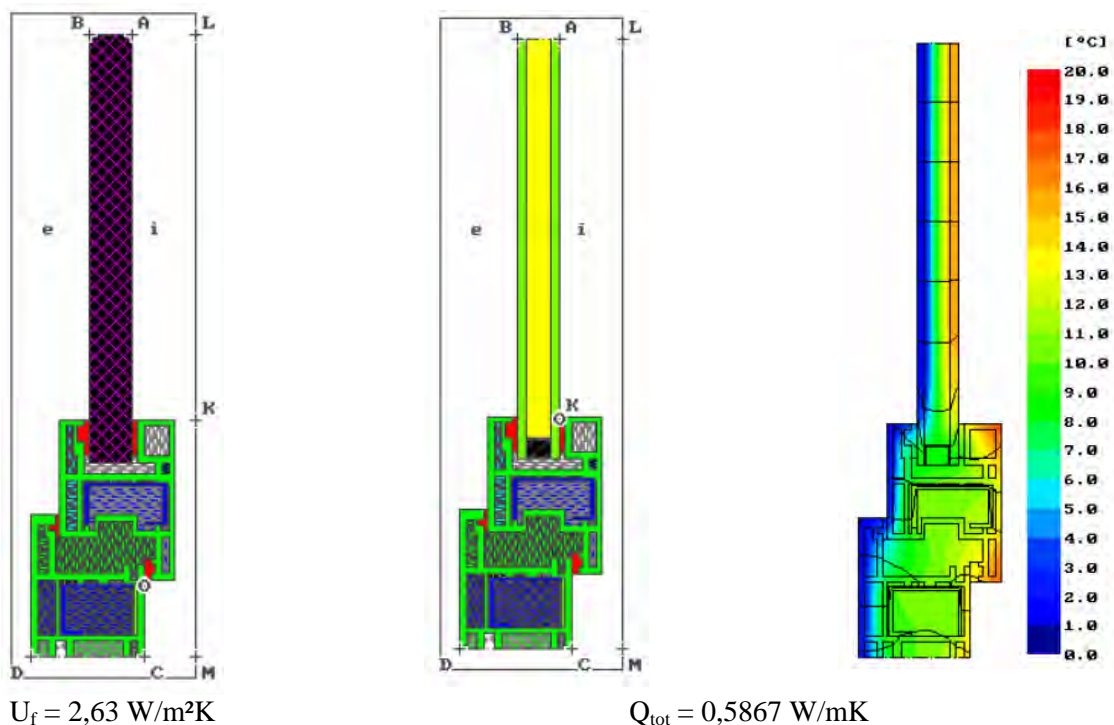


Figure K 16 – Calcul numérique de fenêtre avec encadrement en PVC (modèle de calcul bidimensionnel)

Valeur U de l'encadrement (calcul numérique selon la norme NBN EN ISO 10077-2 – Figure K 16 à gauche)

$$U_f = 2,63 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (l_{f,model} = 0,117 \text{ m})$$

Valeur U du vitrage (déclarée par le fabricant)

$$U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (l_{g,model} = 0,19 \text{ m})$$

Jonction vitre-encadrement (calcul numérique selon la norme NBN EN ISO 10211 – Figure K 16 à droite)

$$\Psi_{f,g} = Q_{tot} - (U_f \cdot l_{f,model} + U_g \cdot l_{g,model}) = 0,5867 - (2,63 \cdot 0,117 + 1,1 \cdot 0,19) = 0,07 \text{ W/mK}$$

Valeur U de la fenêtre, selon l'expression (32)

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \Psi_{f,g}}{A_g + A_f} = \frac{1,1264 \cdot 1,1 + 0,5536 \cdot 2,63 + 4,264 \cdot 0,07}{1,1264 + 0,5536} = 1,78 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Déperdition thermique par la fenêtre (attention: détermination de l'aire avec les ouvertures de baie!)

$$H_{Dw} = U_w \cdot (b \times h) = 1,78 \cdot 1,12 \cdot 1,36 = 2,71 \text{ W/K}$$

K.3.4.2 Méthode de calcul simplifiée (avec valeurs tabulées des annexes E, F et G)Données:

- encadrement en plastique (type de matériau non connue):
- double vitrage amélioré (4-12-4) avec remplissage de krypton et couche réfléchissante ($\varepsilon_n = 0,05$);
- dimensions des composants de fenêtre non connues

Valeur U de l'encadrement (selon le Tableau F 3 – matériau non connu, prendre la valeur pour le PUR)

$$U_f = 2,80 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Valeur U du vitrage (selon le Tableau E 1 – double vitrage, remplissage krypton, $\varepsilon_n = 0,05$)

$$U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Jonction vitre-encadrement (selon le Tableau G 1 – prendre une valeur pour intercalaire normal)

$$\Psi_{f,g} = 0,08 \text{ W/mK}$$

Valeur U de la fenêtre (selon annexe D, prendre la formule pour $U_g < U_f$)

$$U_{w,T} = 0,7 \cdot U_g + 0,3 \cdot U_f + 3 \cdot \Psi_{f,g} = 0,7 \cdot 1,1 + 0,3 \cdot 2,8 + 3 \cdot 0,08 = 1,85 \text{ W/m}^2\text{K}$$

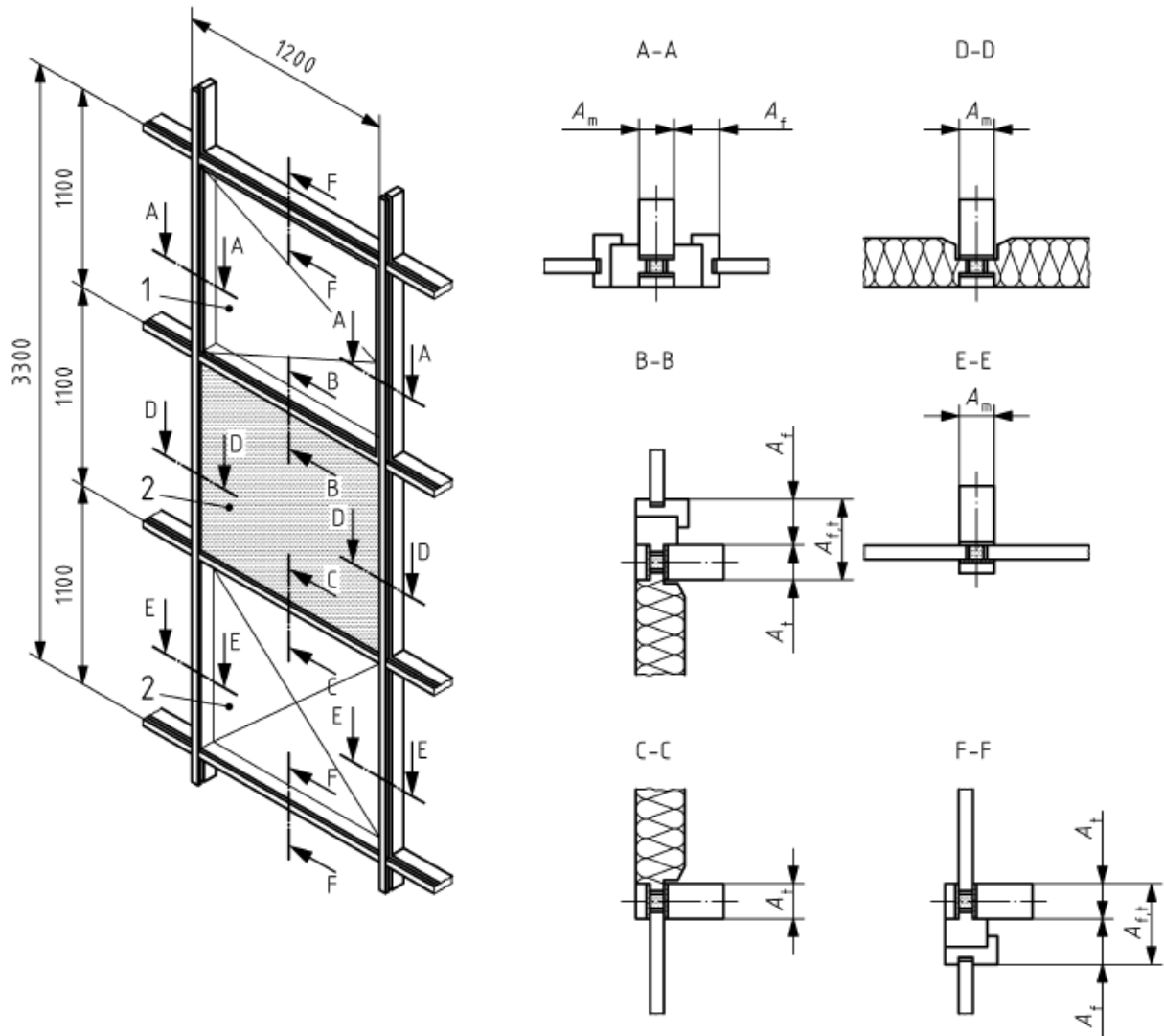
Déperdition thermique par la fenêtre (attention: détermination de l'aire avec les ouvertures de baie!)

$$H_{Dw} = U_{w,T} \cdot (b \times h) = 1,85 \cdot 1,12 \cdot 1,36 = 2,82 \text{ W/K}$$

K.4 Valeur U_{cw} d'une façade légère suivant la méthode des composants

K.4.1 Exemple de calcul : données d'entrée et dessins de détail

L'exemple de calcul porte sur une façade légère composée d'une fenêtre ouvrante, d'un panneau opaque et d'une fenêtre fixe (Figure K 17) qui forment ensemble un module limité par les traverses horizontaux et verticaux.



A: fenêtre ouvrante – B : panneau opaque – C : fenêtre fixe

Figure K 17 - Façade légère (vue extérieure et coupes des jonctions)

Les Figures K 18, K 19 et K 20 présentent les détails respectifs du vitrage, du panneau opaque et des profilés d'encadrement et traverses, avec leurs valeurs U par hypothèse respectives.

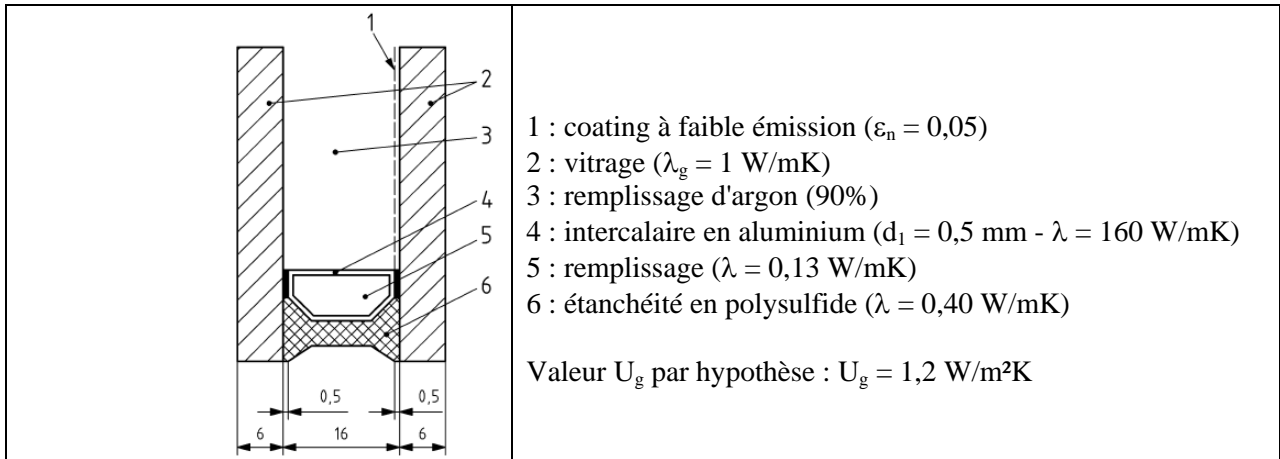


Figure K 18 – Détail du vitrage et de l'intercalaire

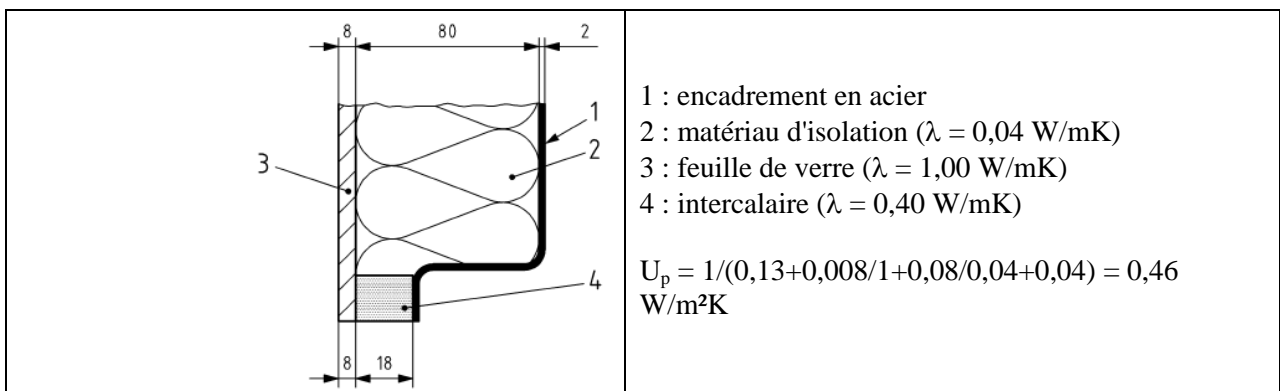


Figure K 19 – Détail du panneau opaque

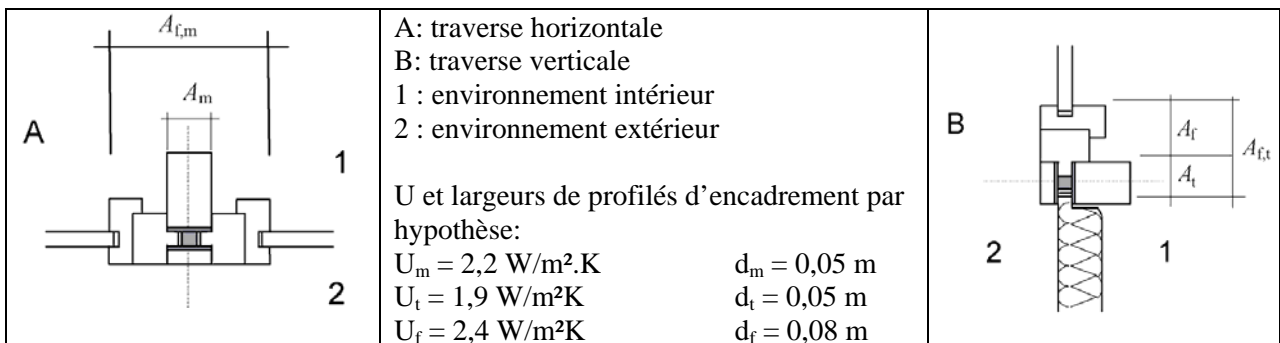


Figure K 20 – Détails des profilés d'encadrement et des traverses

NBN B 62-002 (2008)

K.4.2 Calculs

K.4.2.1 Profilés d'encadrement : aires

Traverse hor. $A_m = 2 \times 3,3 \times 0,025 = 0,165 \text{ m}^2$

Traverse vert. $A_t = (2 \times (1,2 - 2 \times 0,025) \times 0,025) + (2 \times (1,2 - 2 \times 0,025) \times 0,05) = 0,1725 \text{ m}^2$

Profilés d'encadrement fenêtre $A_f = 2 \times (1,2 - 2 \times 0,025) \times 0,08 + 2 \times (1,2 - 2 \times 0,025 - 2 \times 0,08) \times 0,08 = 0,3264 \text{ m}^2$

K.4.2.2 Vitrages : aires et valeurs Ψ

Fenêtre (ouvrante) $A_{g1} = (1,2 - 2 \times 0,025 - 2 \times 0,08) \times (1,1 - 2 \times 0,025 - 2 \times 0,08) = 0,8811 \text{ m}^2$

Fenêtre (fixe) $A_{g2} = (1,2 - 2 \times 0,025) \times (1,2 - 2 \times 0,025) = 1,2075 \text{ m}^2$

Périmètre (ouvrante) $l_{f,g} = 2 \times 0,98 + 2 \times 0,89 = 3,76 \text{ m}$

Périmètre (fixe) $l_{m(t),g} = 2 \times 1,15 + 2 \times 2,05 = 4,40 \text{ m}$

Jonction encadrement-vitre (ouvrante) $\Psi_{f,g} = 0,11 \text{ W/mK}$ (voir Tableau G 1)

Jonction traverse-vitre (fixe) $\Psi_{m(t),g} = 0,17 \text{ W/mK}$ (voir Tableau G 2)

Longueur (encadrement – traverse hor.) $l_{m,f} = 1,1 + 1,1 = 2,20 \text{ m}$

Longueur (encadrement – traverse vert.) $l_{t,f} = 1,1 + 1,1 = 2,20 \text{ m}$

Jonction encadrement-traverse $\Psi_{m,f} = 0,07 \text{ W/mK}$ (voir Tableau G 4 – type D)

$\Psi_{t,f} = 0,07 \text{ W/mK}$ (voir Tableau G 4 – type D)

K.4.2.3 Panneaux opaques : aires, valeurs U_p et valeurs Ψ

Panneaux opaques $A_p = (1,2 - 2 \times 0,025) + (1,1 - 2 \times 0,025) = 1,2075 \text{ m}^2$

Périmètre $l_p = 2 \times 1,15 + 2 \times 1,05 = 4,40 \text{ m}$

Jonction encadrement-panneau opaque $\Psi_{f,p} = 0,18 \text{ W/mK}$ (voir Tableau G 3 – type 2)

K.4.2.4 Calcul de la valeur U_{cw}

Composants	A (m ²)		U (W/m ² K)		l (m)		Ψ (W/mK)		A.U (W/K)	$\Psi.l$ (W/K)
Traverse hor.	A_m	0,1650	U_m	2,2	-	-	-	-	0,363	-
Traverse vert.	A_t	0,1725	U_t	1,9	-	-	-	-	0,328	-
Encadrement	A_f	0,3264	U_f	2,4	-	-	-	-	0,783	-
Traverse/ encadrement	-	-	-	-	$l_{m,f}$	2,20	$\Psi_{m,f}$	0,07	-	0,154
Traverse/ encadrement	-	-	-	-	$l_{t,f}$	2,20	$\Psi_{t,f}$	0,07	-	0,154
Vitrage (ouvrant)	A_g	0,8811	U_g	1,2	$l_{f,g}$	3,76	$\Psi_{f,g}$	0,11	1,057	0,414
Vitrage (fixe)	A_g	1,2075	U_g	1,2	$l_{m(t),g}$	4,40	$\Psi_{m(t),g}$	0,17	1,449	0,748
Panneau remplis.	A_p	1,2075	U_p	0,46	l_p	4,40	$\Psi_{f,p}$	0,18	0,556	0,792
TOTAL	A_{cw}	3,96							4,536	2,262
$U_{cw} = \frac{\sum A.U + \sum \Psi.l}{A_{cw}} = \frac{4,536 + 2,262}{3,96} = 1,72 \text{ W/m}^2\text{K}$										

ANNEXE L

Exemples de calcul (valeurs H)

L.1 Transfert de chaleur via le sol

L.1.1 Plancher non enterré posé directement sur terre-plein (géométrie simple)

Données

Supposons une rangée de cinq maisons identiques, de dimensions telles qu'on peut les voir sur le plan terrier de la Figure L 1. Les planchers reposent tous directement sur le terre-plein (pas de nappe phréatique à faible profondeur) et ne sont pas isolés. L'épaisseur des murs extérieurs est de 0,3 m.

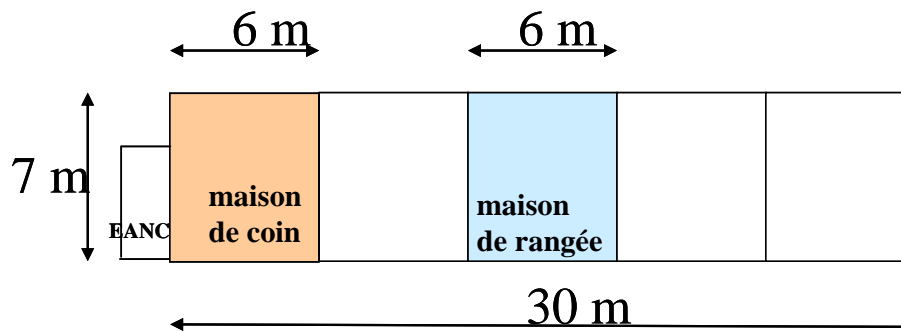


Figure L 1 – Plan terrier des 5 habitations de l'exemple 1

On demande de calculer d'abord le coefficient de transfert de chaleur (H_g) pour l'ensemble des cinq habitations, puis séparément pour une des maisons d'angle et une des maisons de rangée. Le calcul s'effectue chaque fois d'abord suivant la procédure de calcul précise et les formules de 16.3.2, les tableaux de l'annexe I 4 et enfin suivant la méthode de calcul simplifiée de 16.3.3. Le terme de H_g , qui détermine l'effet de pont thermique du raccordement plancher-mur ($P \cdot \Psi_g$) n'est pas pris en compte dans cette annexe pour tous les cas.

Calcul pour l'ensemble des 5 habitations

Calcul précis selon les formules de 16.3.2	
étape préparatoire	<ul style="list-style-type: none"> • valeur λ du sol : $\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$; pas de nappe phréatique : $G_w = 1$ • épaisseur du mur extérieur : $w = 0,3 \text{ m}$; plancher non isolé : $R_f = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ • périmètre : $P = 30 + 7 + 30 + 7 = 74 \text{ m}$ • aire : $A = 7 \times 30 = 210 \text{ m}^2$ • dimension caractéristique au sol : $B' = 2 \cdot A/P = 5,676 \text{ m}$ (ou $P/A = 74/210 = 0,35 \text{ m}^{-1}$)
étape 1	Calculez d_t suivant : $d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0,12 + 0,04) = 0,96 \text{ m}$
étape 2	Calculez $U_f = U_o$ pour $d_t < B'$: $U_o = \frac{2 \times 2}{3,14 \times 5,676 + 0,96} \ln \left(\frac{3,14 \times 5,676}{0,96} + 1 \right) = 0,633 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 3	Il n'y a pas d'isolation périphérique ($\psi_e = 0$), donc : $U_f = U_o$
étape 4	Déperdition thermique stationnaire : $H_g = 1 \cdot (0,633 \times 210) = 133 \text{ W/K}$
Détermination graphique selon les tableaux de l'annexe I 4	
	<ul style="list-style-type: none"> • $P/A = 0,35 \text{ m}^{-1}$ • Au Tableau I 3, nous trouvons pour $P/A = 0,35$ et $R_f = 0,12$: $U_f = 0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$ • $H_g = 0,63 \times 210 = 131 \text{ W/K}$

Méthode simplifiée selon le § 16.3.3	
	<ul style="list-style-type: none"> • $R_f = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ (dalle de béton non isolée) • $U_{f,eq} = 1/(R_{si} + R_f + R_{se}) = 3,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ • D'après le Tableau I 4 : $b = 0,205$ • $H_g = U_{f,eq} \cdot A \cdot b = 3,03 \times 210 \times 0,205 = 131 \text{ W/K}$

Tableau L 1 – Détermination de H_g pour toutes les habitations

Calcul pour la maison d'angle

Le calcul est identique à celui de l'exemple précédent ; seuls le périmètre, l'aire et la dimension caractéristique au sol changent.

Calcul précis selon les formules de 16.3.2	
étape préparatoire	<ul style="list-style-type: none"> • valeur λ du sol : $\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$; pas de nappe phréatique : $G_w = 1$ • épaisseur du mur extérieur : $w = 0,3 \text{ m}$, plancher non isolé : $R_f = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ • périmètre : $P = 6 + 7 + 6 = 19 \text{ m}$ • aire : $A = 6 \times 7 = 42 \text{ m}^2$ • dimension caractéristique au sol : $B' = 2.A/P = 4,421 \text{ m}$ (of $P/A = 19/42 = 0,45 \text{ m}^{-1}$)
étape 1	Calculez d_t suivant : $d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0,12 + 0,04) = 0,96 \text{ m}$
étape 2	Calculez $U_f = U_o$ pour $d_t < B'$: $U_o = \frac{2 \times 2}{3,14 \times 4,421 + 0,96} \ln \left(\frac{3,14 \times 4,421}{0,96} + 1 \right) = 0,738 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 3	Il n'y a pas d'isolation périphérique ($\psi_e = 0$), donc : $U_f = U_o$
étape 4	Déperdition thermique stationnaire : $H_g = 1 \cdot (0,738 \times 42) = 31 \text{ W/K}$
Détermination graphique selon les tableaux de l'annexe I 4	
	<ul style="list-style-type: none"> • $P/A = 0,45 \text{ m}^{-1}$ • Au Tableau I 3, nous trouvons pour $P/A = 0,45$ et $R_f = 0,12$: $U_f = 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ • $H_g = 0,74 \times 42 = 31 \text{ W/K}$
Méthode simplifiée selon le § 16.3.3	
	<ul style="list-style-type: none"> • $R_f = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ (dalle de béton non isolée) • $U_{f,eq} = 1/(R_{si} + R_f + R_{se}) = 3,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ • D'après le Tableau I 4 : $b = 0,24$ • $H_g = U_{f,eq} \cdot A \cdot b = 3,03 \times 42 \times 0,24 = 31 \text{ W/K}$

Tableau L 2 – Détermination de H_g pour la maison d'angle

Calcul pour la maison de rangée

Le calcul est identique à celui de l'exemple précédent ; seuls le périmètre et la dimension caractéristique au sol changent.

Calcul précis selon les formules de 16.3.2	
étape préparatoire	<ul style="list-style-type: none"> • valeur λ du sol : $\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$; pas de nappe phréatique : $G_w = 1$ • épaisseur du mur extérieur : $w = 0,3 \text{ m}$, plancher non isolé : $R_f = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ • périmètre : $P = 6 + 6 = 12 \text{ m}$ • aire : $A = 6 \times 7 = 42 \text{ m}^2$ • dimension caractéristique au sol : $B' = 2.A/P = 7 \text{ m}$ (ou $P/A = 12/42 = 0,29 \text{ m}^{-1}$)
étape 1	Calculez d_t suivant : $d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0,12 + 0,04) = 0,96 \text{ m}$

étape 2	<p>Calculez $U_f = U_o$ pour $d_t < B'$:</p> $U_o = \frac{2 \times 2}{3,14 \times 7 + 0,96} \ln \left(\frac{3,14 \times 7}{0,96} + 1 \right) = 0,553 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 3	Il n'y a pas d'isolation périphérique ($\psi_e = 0$), donc : $U_f = U_o$
étape 4	Déperdition thermique stationnaire : $H_g = 1 \cdot (0,553 \times 42) = 23 \text{ W/K}$
Détermination graphique selon les tableaux de l'annexe I 4	
<ul style="list-style-type: none"> • $P/A = 0,29 \text{ m}^{-1}$ • Au Tableau I 3, nous trouvons pour $P/A = 0,29$ et $R_f = 0,12$: $U_f = 0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$ • $H_g = 0,57 \times 42 = 24 \text{ W/K}$ 	
Méthode simplifiée selon le § 16.3.3	
<ul style="list-style-type: none"> • $R_f = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ (dalle de béton non isolée) • $U_{f,eq} = 1/(R_{si} + R_f + R_{se}) = 3,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ • D'après le Tableau I 4 : $b = 0,19$ • $H_g = U_{f,eq} \cdot A \cdot b = 3,03 \times 42 \times 0,18 = 23 \text{ W/K}$ 	

Tableau L 3 – Détermination de H_g pour une maison de rangée

L.1.2 Plancher non enterré posé directement sur terre-plein (forme irrégulière)

Données générales

Supposons une habitation dont le plan terrier a la forme d'un L ; tel qu'illustré à la Figure L 2. Le plancher repose directement sur le terre-plein (espèce de sol non connue, pas de nappe phréatique) et l'épaisseur des murs extérieurs est de 0,3 m. Calculez la déperdition thermique stationnaire dans les cas suivants:

- plancher non isolé ($R_f = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$)
- plancher isolé sur toute la surface
- mur de fondation en blocs isolants

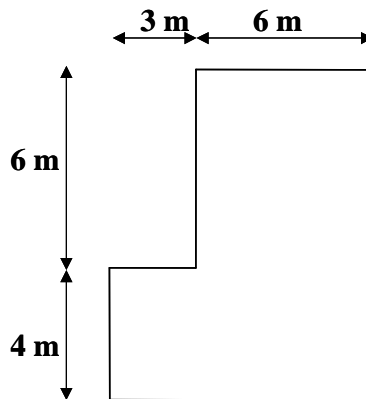


Figure L 2 - Plan terrier d'habitation de l'exemple 2

Le plancher n'est pas isolé

Supposons une dalle de plancher qui n'est pas isolée sur toute sa surface ($R_f = 0 \text{ m}^2\text{K/W}$), tel qu'illustré à la Figure L 3.

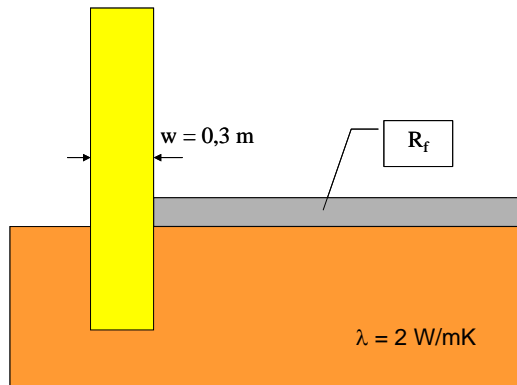


Figure L 3 – Plancher non isolé

Calcul précis selon les formules de 16.3.2	
étape préparatoire	<ul style="list-style-type: none"> valeur λ du sol (non connu) : $\lambda = 2 \text{ W/mK}$; pas de nappe phréatique : $G_w = 1$ épaisseur du mur extérieur : $w = 0,3 \text{ m}$, plancher non isolé : $R_f = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ périmètre : $P = 2 \times (4 + 6 + 3 + 6) = 38 \text{ m}$ aire : $A = (4 \times 9) + (6 \times 6) = 72 \text{ m}^2$ dimension caractéristique au sol : $B' = 2.A/P = 3,789 \text{ m}$ (ou $P/A = 38/72 = 0,53 \text{ m}^{-1}$)
étape 1	Calculez d_t suivant : $d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0,12 + 0,04) = 0,96 \text{ m}$
étape 2	Calculez $U_f = U_o$ pour $d_t < B'$: $U_o = \frac{2 \times 2,0}{3,14 \times 3,789 + 0,96} \ln \left(\frac{3,14 \times 3,789}{0,96} + 1 \right) = 0,807 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 3	Il n'y a pas d'isolation périphérique ($\psi_e = 0$), donc : $U_f = U_o$
étape 4	Déperdition thermique stationnaire : $H_g = 1 \cdot (0,807 \times 72) = 58 \text{ W/K}$
Détermination graphique selon les tableaux de l'annexe I 4	
	<ul style="list-style-type: none"> $P/A = 0,53 \text{ m}^{-1}$ Au Tableau I 3, nous trouvons pour $P/A = 0,53$ et $R_f = 0,12$: $U_f = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ $H_g = 0,80 \times 72 = 58 \text{ W/K}$
Méthode simplifiée selon le § 16.3.3	
	<ul style="list-style-type: none"> $R_f = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ (dalle de béton non isolée) $U_{f,eq} = 1/(R_{si} + R_f + R_{se}) = 3,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ D'après le Tableau I 4 : $b = 0,26$ $H_g = U_{f,eq} \cdot A \cdot b = 3,03 \times 72 \times 0,26 = 56 \text{ W/K}$

Tableau L 4 – Détermination de H_g pour un plancher non isolé

Le plancher est entièrement et uniformément isolé

Supposons un plancher entièrement isolé par une couche d'isolation de 25 mm d'épaisseur (avec $\lambda_{\text{ins}} = 0,04$ W/mK) placée sous la dalle de plancher, tel qu'illustré à la Figure L 4.

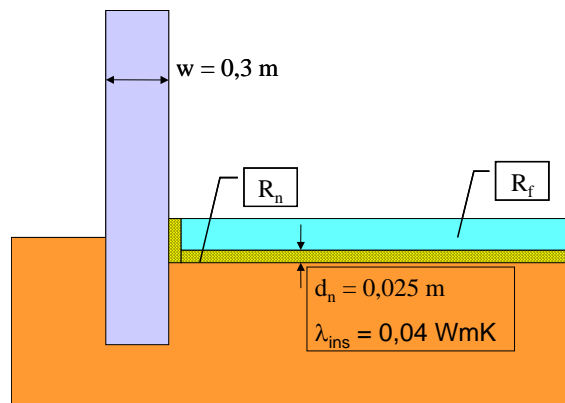


Figure L 4 – Plancher entièrement isolé

Le calcul suit la procédure et les formules de 16.3.2.

Calcul précis selon les formules de 16.3.2	
étape préparatoire	<ul style="list-style-type: none"> valeur λ du sol (non connu) : $\lambda = 2$ W/mK ; pas de nappe phréatique : $G_w = 1$ épaisseur du mur extérieur : $w = 0,3$ m plancher isolé : $R_f = d_n/\lambda_{\text{ins}} = 0,025/0,04 = 0,625$ m²K/W périmètre : $P = 2 \times (4 + 6 + 3 + 6) = 38$ m aire : $A = (4 \times 9) + (6 \times 6) = 72$ m² dimension caractéristique au sol : $B' = 2.A/P = 3,789$ m (ou $P/A = 38/72 = 0,53$ m⁻¹)
étape 1	Calculez d_t suivant : $d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0,625 + 0,04) = 1,97$ m
étape 2	Calculez $U_f = U_o$ pour $d_t < B'$: $U_o = \frac{2 \times 2,0}{3,14 \times 3,789 + 1,97} \ln \left(\frac{3,14 \times 3,789}{1,97} + 1 \right) = 0,56$ W/m ² K
étape 3	Il n'y a pas d'isolation périphérique ($\psi_e = 0$), donc : $U_f = U_o$
étape 4	Déperdition thermique stationnaire : $H_g = 1 \cdot (0,56 \times 72) = 40$ W/K
Détermination graphique selon les tableaux de l'annexe I 4	
	<ul style="list-style-type: none"> $P/A = 0,53$ m⁻¹ Au Tableau I 3, nous trouvons pour $P/A = 0,53$ et $R_f = 0,62$: $U_f = 0,56$ W/m²K $H_g = 0,56 \times 72 = 40$ W/K
Méthode simplifiée selon le § 16.3.3	
	<ul style="list-style-type: none"> $R_f = 0,625$ m²K/W (dalle de béton isolée) $U_{f,\text{eq}} = 1/(R_{\text{si}} + R_f + R_{\text{se}}) = 1,198$ W/m²K D'après le Tableau I 4 : $b = 0,48$ $H_g = U_{f,\text{eq}} \cdot A \cdot b = 1,198 \times 72 \times 0,48 = 41$ W/K

Tableau L 5 – Détermination de H_g pour un plancher entièrement isolé

Le plancher est fortement isolé

Supposons, dans ce cas également, un plancher entièrement isolé, mais par une couche d'isolation de 80 mm d'épaisseur (avec $\lambda_{\text{ins}} = 0,04 \text{ W/mK}$) placée sous la dalle de plancher, tel qu'illustré à la Figure L 5.

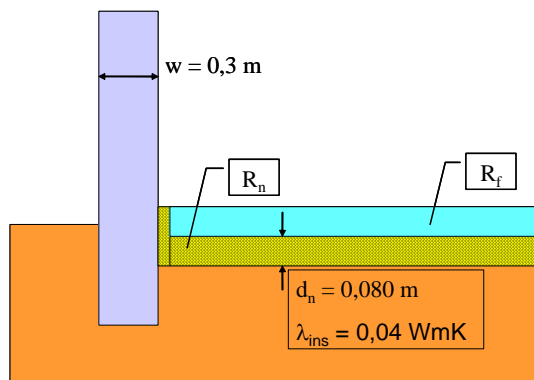


Figure L 5 – Plancher entièrement et fortement isolé

Calcul précis selon les formules de 16.3.2	
étape préparatoire	<ul style="list-style-type: none"> valeur λ du sol (non connu) : $\lambda = 2 \text{ W/mK}$; pas de nappe phréatique : $G_w = 1$ épaisseur du mur extérieur : $w = 0,3 \text{ m}$ plancher isolé : $R_f = d_n/\lambda_{\text{ins}} = 0,080/0,04 = 2,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ périmètre : $P = 2 \times (4 + 6 + 3 + 6) = 38 \text{ m}$ aire : $A = (4 \times 9) + (6 \times 6) = 72 \text{ m}^2$ dimension caractéristique au sol : $B' = 2.A/P = 3,789 \text{ m}$ (ou $P/A = 38/72 = 0,53 \text{ m}^{-1}$)
étape 1	Calculez d_t suivant : $d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 2,0 + 0,04) = 4,72 \text{ m}$
étape 2	Calculez $U_f = U_o$ pour $d_t \geq B'$: $U_o = \frac{2}{0,457 \times 3,789 + 4,72} = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 3	Il n'y a pas d'isolation périphérique ($\psi_e = 0$), donc : $U_f = U_o$
étape 4	Déperdition thermique stationnaire : $H_g = 1 \cdot (0,31 \times 72) = 22 \text{ W/K}$
Détermination graphique selon les tableaux de l'annexe I 4	
	<ul style="list-style-type: none"> $P/A = 0,53 \text{ m}^{-1}$ Au Tableau I 3, nous trouvons pour $P/A = 0,53$ et $R_f = 2,0$: $U_o = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ $H_g = 0,31 \times 72 = 22 \text{ W/K}$
Méthode simplifiée selon le § 16.3.3	
	<ul style="list-style-type: none"> $R_f = 2,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ (dalle de béton isolée) $U_{f,\text{eq}} = 1/(R_{\text{si}} + R_f + R_{\text{se}}) = 0,453 \text{ W/m}^2\text{K}$ D'après le Tableau I 4 : $b = 0,70$ $H_g = U_{f,\text{eq}} \cdot A \cdot b = 0,453 \times 72 \times 0,70 = 23 \text{ W/K}$

Tableau L 6 – Détermination de H_g pour un plancher entièrement et fortement isolé

Plancher avec isolation périphérique

Supposons une dalle de plancher non isolée, sous laquelle une plaque d'isolation de 30 mm d'épaisseur (avec $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$) est placée en une bande périphérique (de largeur $D = 1 \text{ m}$), tel qu'illustré à la Figure L 6.

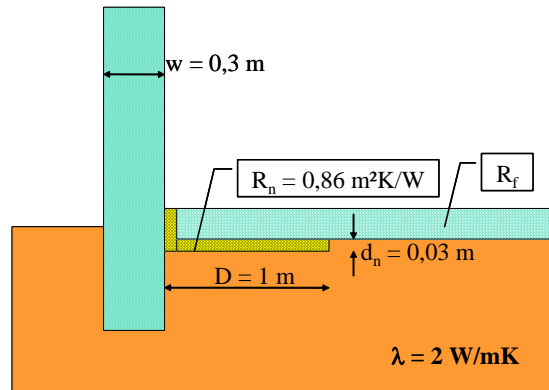


Figure L 6 – Dalle de plancher pourvue d'une isolation périphérique

Calcul précis selon les formules de 16.3.2	
étape préparatoire	<ul style="list-style-type: none"> valeur λ du sol (non connu) : $\lambda = 2 \text{ W/mK}$; pas de nappe phréatique : $G_w = 1$ épaisseur du mur extérieur : $w = 0,3 \text{ m}$ partie non isolée du plancher : $R_f = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ partie isolée du plancher : $R_n = d_n/\lambda_{\text{ins}} = 0,03/0,035 = 0,86 \text{ m}^2\text{K/W}$ périmètre : $P = 2 \times (4 + 6 + 3 + 6) = 38 \text{ m}$ aire : $A = (4 \times 9) + (6 \times 6) = 72 \text{ m}^2$ dimension caractéristique au sol : $B' = 2.A/P = 3,789 \text{ m}$ (ou $P/A = 38/72 = 0,53 \text{ m}^{-1}$)
étape 1	Calculez d_t suivant : $d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0,12 + 0,04) = 0,96 \text{ m}$
étape 2	Calculez $U_f = U_o$ pour $d_t < B'$: $U_o = \frac{2 \times 2,0}{3,14 \times 3,789 + 0,96} \ln \left(\frac{3,14 \times 3,789}{0,96} + 1 \right) = 0,807 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 3	<ul style="list-style-type: none"> Pour l'isolation périphérique horizontale : $d' = R_n \lambda - d_n = 0,86 \times 2 - 0,03 = 1,69 \text{ m}$ L'effet favorable de l'isolation périphérique est calculé comme:: $\Psi_e = -\frac{2}{\pi} \left[\ln \left(\frac{1}{0,96} + 1 \right) - \ln \left(\frac{1}{0,96 + 1,69} + 1 \right) \right] = -0,25 \text{ W/mK}$ La valeur U_f est donc égale à : $U_f = U_o + 2 \Psi_e/B' = 0,807 - (2 \times 0,25/3,789) = 0,675 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 4	Déperdition thermique stationnaire: $H_g = 1 \cdot (0,675 \times 72) = 49 \text{ W/K}$
Détermination graphique selon les tableaux de l'annexe I 4	
	<ul style="list-style-type: none"> $P/A = 0,53 \text{ m}^{-1}$ Au tableau I 5, nous trouvons pour $P/A = 0,53$ et $R_f = 0,12$: $U_f = 0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$ $H_g = 0,68 \times 72 = 49 \text{ W/K}$
Méthode simplifiée selon le § 16.3.3	
	<ul style="list-style-type: none"> $R_f = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ (dalle de béton non isolée) $U_{f,eq} = 1/(R_{si} + R_f + R_{se}) = 3,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ D'après le Tableau I 6 : $b = 0,23$ $H_g = U_{f,eq} \cdot A \cdot b = 3,03 \times 72 \times 0,23 = 50 \text{ W/K}$

Tableau L 7 – Détermination de H_g pour un plancher avec isolation périphérique horizontale

Fondation exécutée en blocs isolants (= isolation périphérique verticale)

Supposons une fondation isolante de 30 cm de large et 60 cm de profondeur, dont la conductivité thermique est égale à 0,25 m²K/W, tel qu'illustré à la Figure L 7.

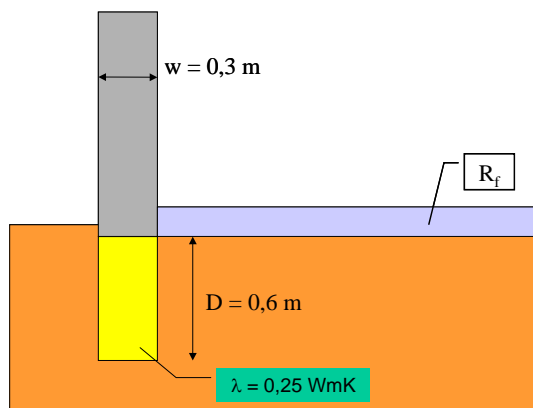


Figure L 7 - Fondation isolante

Calcul précis selon les formules de 16.3.2	
étape préparatoire	<ul style="list-style-type: none"> valeur λ du sol (non connu) : $\lambda = 2 \text{ W/mK}$; pas de nappe phréatique : $G_w = 1$ épaisseur du mur extérieur : $w = 0,3 \text{ m}$, plancher non isolé : $R_f = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ périmètre : $P = 2 \times (4 + 6 + 3 + 6) = 38 \text{ m}$ aire : $A = (4 \times 9) + (6 \times 6) = 72 \text{ m}^2$ dimension caractéristique au sol : $B' = 2.A/P = 3,789 \text{ m}$
étape 1	Calculez d_t suivant : $d_t = 0,3 + 2,0(0,17 + 0,12 + 0,04) = 0,96 \text{ m}$
étape 2	Calculez $U_f = U_o$ pour $d_t < B'$: $U_o = \frac{2 \times 2,0}{3,14 \times 3,789 + 0,96} \ln \left(\frac{3,14 \times 3,789}{0,96} + 1 \right) = 0,807 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 3	<ul style="list-style-type: none"> Pour la fondation (si isolation périphérique verticale) : $d' = R_n \lambda - d_n = (0,3/0,25) \times 2 - 0,3 = 2,1 \text{ m}$ L'effet favorable de la fondation isolante est calculé comme : $\Psi_e = -\frac{2}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2,0,6}{0,96} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2,0,6D}{0,96 + 2,1} + 1 \right) \right] = -0,31 \text{ W/mK}$ La valeur U_f est donc égale à : $U_f = U_o + 2 \Psi_e/B' = 0,807 - (2 \times 0,31/3,789) = 0,646 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 4	Déperdition thermique stationnaire : $H_g = 1 \cdot (0,646 \times 72) = 46 \text{ W/K}$

Tableau L 8 – Détermination de H_g pour un plancher avec isolation périphérique verticale

L.1.3 Plancher au-dessus de vide sanitaire

Données

Supposons une habitation dont une partie du plancher inférieur se trouve au-dessus d'un vide sanitaire (voir Figure L 8). Le plancher au-dessus du vide sanitaire a une base rectangulaire de 10,5 x 7,2 m. Le vide sanitaire est ventilé par des ouvertures de ventilation dont la section (ϵ) moyenne est de 0,002 m²/m. Le mur extérieur du vide sanitaire a 30 cm d'épaisseur ($w = 0,3$ m) et est partiellement en contact avec l'environnement extérieur ($h = 0,5$ m) et partiellement enterré ($z = 0,5$ m). Le fond du vide sanitaire est en contact direct avec le sol ($R_g = 0$). Ce type de sol a une valeur λ de 2,0 W/mK. Le bâtiment est situé dans un environnement moyennement exposé, où règne une vitesse moyenne du vent (v) supposée de 4 m/s.

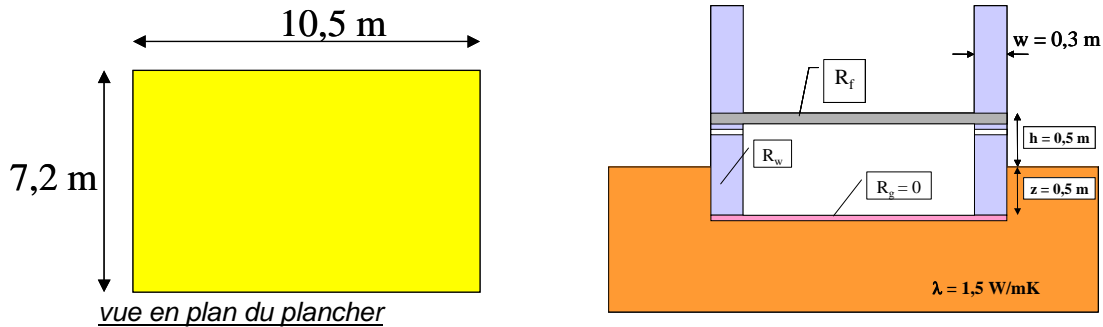


Figure L 8 – Plancher au-dessus de vide sanitaire

Calculons la déperdition thermique stationnaire du plancher au-dessus du vide sanitaire dans les cas suivants :

- plancher non isolé ($R_f = 0,29$ m²K/W) et mur de vide sanitaire non isolé ($R_w = 0,42$ m²K/W)
- même chose que ci-dessus, mais avec un plancher isolé ($U_f = 0,5$ W/m²K)

Plancher non isolé au-dessus de vide sanitaire

La procédure de calcul est celle mentionnée en 16.5.2 ; on prend aussi en compte la ventilation du vide sanitaire pour déterminer la valeur U équivalente du plancher.

Calcul précis selon les formules de 16.5.2	
étape préparatoire	<ul style="list-style-type: none"> • valeur λ du sol : $\lambda = 2,0$ W/mK ; pas de nappe phréatique : $G_w = 1$ • plancher non isolé au-dessus de vide sanitaire : $R_f = 0,29$ m²K/W • mur du vide sanitaire: épaisseur $w = 0,3$ m ; profondeur dans le sol $z = 0,5$ m ; hauteur au-dessus du niveau du sol $h = 0,5$ m ; $R_w = 0,42$ m²K/W (non isolé) • plancher du vide sanitaire: $R_g = 0$ m²K/W (pas d'isolation) • facteur de protection au vent : $f_w = 0,02$ • périmètre : $P = 2 \times (7,2 + 10,5) = 35,4$ m • aire : $A = 7,2 \times 10,5 = 75,6$ m² • dimension caractéristique au sol : $B' = 2.A/P = 4,271$ m (ou $P/A = 35,4/75,6 = 0,47$ m⁻¹)
étape 1	Calculez U_f (plancher au-dessus de vide sanitaire) selon : $U_f = \frac{1}{0,17 + 0,29 + 0,17} = 1,59 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 2	Calculez U_w (partie de mur au-dessus du niveau du sol) selon : $U_w = \frac{1}{0,13 + 0,42 + 0,04} = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 3	Calculez d_g suivant : $d_g = 0,3 + 2,0 \times (0,17 + 0 + 0,04) = 0,72$ m
étape 4	Calculez d_w suivant : $d_w = 2,0 \times (0,13 + 0,42 + 0,04) = 1,18$ m
étape 5	Comme $z \leq 0,5$ m, on calcule U_g selon :

	$U_g = 1 \cdot \frac{2 \times 2}{3,14 \times 4,271 + 0,72} \ln \left(\frac{3,14 \times 4,271}{0,72} + 1 \right) = 0,843 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 6	Calculez U_x selon : $U_x = 2hU_w / B' + 1450 \cdot \varepsilon \cdot v \cdot f_w / B'$ $U_x = 2 \times 0,5 \times 1,7/4,271 + 1450 \times 0,002 \times 4,0 \times 0,05/4,271 = 0,534 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 7	Calculez ensuite U suivant : $\frac{1}{U} = \frac{1}{1,59} + \frac{1}{0,843 + 0,534} = 1,36 \text{ m}^2\text{K/W}$ of $U = 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 8	La déperdition thermique stationnaire est enfin donnée par : $H_g = A \times U = 75,6 \times 0,74 = 56 \text{ W/K}$
Détermination graphique selon les tableaux de l'annexe I 4	
<ul style="list-style-type: none"> • $P/A = 35,4/75,6 = 0,47 \text{ m}^{-1}$ • Au Tableau I 25, nous trouvons pour $P/A = 0,47$ et $R_f = 0,29$: $U = 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ • $H_g = 75,6 \times 0,74 = 56 \text{ W/K}$ 	
Méthode simplifiée selon le § 16.5.3	
<ul style="list-style-type: none"> • $R_f = 0,29 \text{ m}^2\text{K/W}$ (dalle de béton non isolée) • $U_{eq} = 1/(R_{si} + R_f + R_{se}) = 2,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ • D'après le Tableau I 26 : $b = 0,34$ • $H_g = U_{eq} \cdot A \cdot b = 2,17 \times 75,6 \times 0,34 = 56 \text{ W/K}$ 	

Tableau L 9 – Détermination de H_g pour un plancher non isolé au-dessus d'un vide sanitaire

Plancher isolé au-dessus de vide sanitaire

Cet exemple est identique au précédent, à cette différence que le plancher au-dessus du vide sanitaire est isolé ($R_f = 1,66 \text{ m}^2\text{K/W}$ – adapter l'étape 1). L'effet de cette isolation devient évident à partir de l'étape 7 :

étape 1	Calculez U_f (plancher au-dessus de vide sanitaire) selon : $U_f = \frac{1}{0,17 + 1,66 + 0,17} = 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 7	Calculez ensuite U suivant : $\frac{1}{U} = \frac{1}{0,50} + \frac{1}{0,843 + 0,534} = 2,73 \text{ m}^2\text{K/W}$ of $U = 0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$
étape 8	La déperdition thermique stationnaire est enfin donnée par : $H_g = A \times U = 75,6 \times 0,37 = 28 \text{ W/K}$
Détermination graphique selon les tableaux de l'annexe I 4	
<ul style="list-style-type: none"> • $P/A = 35,4/75,6 = 0,47 \text{ m}^{-1}$ • Au tableau I 25, nous trouvons pour $P/A = 0,47$ et $R_f = 1,66$: $U_f = 0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$ • $H_g = 75,6 \times 0,37 = 28 \text{ W/K}$ 	
Méthode simplifiée selon le § 16.5.3	
<ul style="list-style-type: none"> • $R_f = 1,66 \text{ m}^2\text{K/W}$ (dalle de béton isolée) • $U_{eq} = 1/(R_{si} + R_f + R_{se}) = 0,53 \text{ W/m}^2\text{K}$ • D'après le Tableau I 26 : $b = 0,69$ • $H_g = U_{eq} \cdot A \cdot b = 0,53 \times 75,6 \times 0,69 = 28 \text{ W/K}$ 	

Tableau L 10 – Détermination de H_g pour un plancher isolé au-dessus d'un vide sanitaire

L.1.3 Cave chauffée

Données

Supposons une cave chauffée avec plancher non isolé enterré ayant une base de 10 x 7,5 m. La cave est enterrée à 2 m de profondeur dans le sol. Les murs de cave consistent en 30 cm de blocs de béton ($\lambda = 1,7$ W/mK) et sont isolés à l'intérieur par 5 cm d'isolation ($\lambda = 0,035$ W/mK). Supposons également un sol sableux ayant un $\lambda = 2$ W/mK. La situation est reprise schématiquement à la Figure L 9.

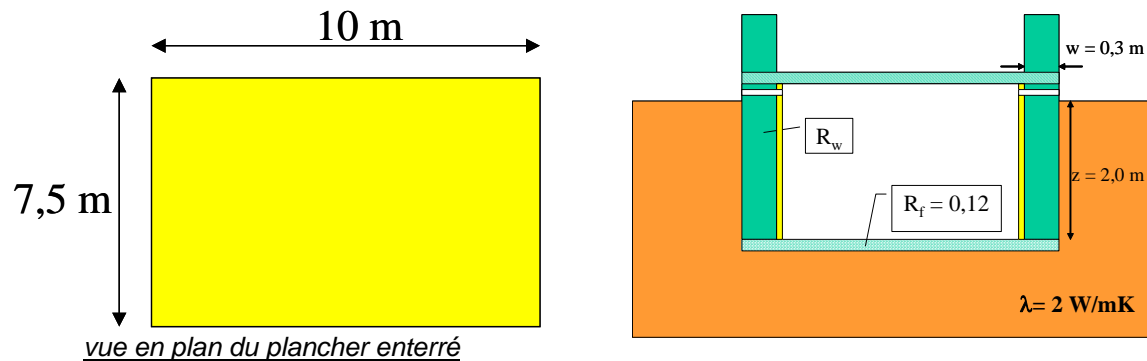


Figure L 9 – Cave chauffée

Calcul précis selon les formules de 16.4.2	
étape préparatoire	<ul style="list-style-type: none"> valeur λ du sol : $\lambda = 2$ W/mK ; pas de nappe phréatique : $G_w = 1$ plancher non isolé enterré $R_{bf} = 0,12$ m²K/W mur isolé enterré : épaisseur $w = 0,3$ m ; profondeur dans le sol $z = 2$ m ; $R_w = 0,3/1,7 + 0,05/0,035 = 1,605$ m²K/W ; périmètre : $P = 2 \times (7,5 + 10) = 35$ m ; aire : $A = 7,5 \times 10 = 75$ m² dimension caractéristique au sol : $B' = 2.A/P = 4,286$ m
étape 1	Calculez d_t pour le <u>plancher enterré</u> selon : $d_t = 0,3 + 2 (0,17 + 0,12 + 0,04) = 0,96$ m
étape 2	Comme $d_t + \frac{1}{2}z (= 1,96) < B' (= 4,286)$, U_{bf} (<u>plancher enterré</u>) doit être calculé suivant : : $U_{bf} = \frac{2 \times 2}{3,14 \times 4,286 + 0,96 + 1} \ln \left(\frac{3,14 \times 4,286}{0,96 + 1} + 1 \right) = 0,535$ W/m ² K
étape 3	Calculez d_w pour le <u>mur enterré</u> selon : $d_w = 2 (0,13 + 1,605 + 0,04) = 3,55$ m
étape 4	Comme $d_w \geq d_t$, il faut calculer U_{bw} pour le <u>mur enterré</u> suivant : $U_{bw} = \frac{2 \times 2}{3,14 \times 2} \left(1 + \frac{0,5 \times 0,96}{0,96 + 2} \right) \ln \left(\frac{2}{3,55} + 1 \right) = 0,33$ W/m ² K
étape 5	Dans le cas d'une cave <u>chauffée</u> : <ul style="list-style-type: none"> calculez U' suivant : $U' = \frac{(75 \times 0,535) + (2 \times 35 \times 0,33)}{75 + (2 \times 35)} = 0,436$ W/m²K calculez finalement la perte de chaleur suivant : $H_g = (75 \times 0,535) + (2 \times 35 \times 0,33) = 63$ W/K
Détermination graphique selon les tableaux de l'annexe I 4	
	<ul style="list-style-type: none"> $P/A = 35/75 = 0,47$ m⁻¹ Au tableau I 15 (plancher enterré), nous trouvons pour $P/A = 0,47$ et $R_{bf} = 0,12$: $U_{bf} = 0,53$ W/m²K Au Tableau I 16 (mur enterré), nous trouvons pour $R_{bw} = 1,6$: $U_{bw} = 0,33$ W/m²K $H_g = (75 \times 0,53) + (2 \times 35 \times 0,33) = 62$ W/K

Méthode simplifiée selon le § 16.4.3	
<u>Détermination simplifiée selon 16.4.3 (plancher enterré)</u> $R_{bf} = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$ (dalle de béton non isolée) $U_{bf,eq} = 1/(R_{si} + R_{bf} + R_{se}) = 3,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ D'après le Tableau I 17, $b_f = 0,18$	<u>Détermination simplifiée selon 16.4.3 (mur enterré)</u> $R_{bw} = 1,605 \text{ m}^2\text{K/W}$ (mur isolé) $U_{bw,eq} = 1/(R_{si} + R_{bw} + R_{se}) = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$ D'après le Tableau I 18, $b_w = 0,57$
TOTAL (plancher + mur) : $H_g = (U_{bf,eq} \cdot A \cdot b_f) + (U_{bw,eq} \cdot z \cdot P \cdot b_w) = (3,03 \cdot 75 \cdot 0,18) + (0,56 \cdot 2 \cdot 35 \cdot 0,57) = 63 \text{ W/K}$	

Tableau L 11 – Détermination de H_g pour les parois de cave

