

RÈGLES Th-U

FASCICULE 3 : PAROIS VITRÉES

Sommaire

1. Introduction	1	3.1.3 Doubles vitrages horizontaux	44
1.1 Références normatives	1	3.1.4 Triples vitrages verticaux	47
1.2 Définitions, symboles et indices	2	3.1.5 Triples vitrages horizontaux	49
1.2.1 Définitions	2	3.2 Coefficient ψ de la jonction entre élément de remplissage et profilé de menuiserie, en W/(m.K)	51
1.2.2 Symboles	3	3.2.1 L'élément de remplissage est un double ou triple vitrage à espaceur aluminium, pris dans une feuillure (fenêtres et portes-fenêtres uniquement)	51
1.2.3 Indices	3	3.2.2 L'élément de remplissage est un vitrage double ou triple à espaceur thermiquement amélioré, pris dans une feuillure (fenêtres et portes-fenêtres uniquement)	51
2. Méthodes de calcul	4	3.2.3 L'élément de remplissage est un panneau opaque avec espaceur	51
2.1 Principe	4	3.3 Coefficient U_w des parois vitrées courantes	52
2.2 Calcul de la paroi vitrée	4	3.3.1 Menuiserie métallique à rupture de pont thermique	53
2.2.1 Fenêtres, portes et portes-fenêtres	4	3.3.2 Menuiserie en PVC	57
2.2.2 Lanterneaux	6	3.3.3 Menuiserie en bois	62
2.2.3 Paroi vitrée avec fermetures et stores	10	3.4 Coefficient de transmission thermique des fenêtres équipées de protections mobiles U_{ws}	65
2.2.4 Coefficient U moyen jour-nuit	13	3.5 Coefficient de transmission thermique moyen $U_{\text{jour-nuit}}$	66
2.2.5 Blocs-baies	13	3.6 Coefficient U_w des portes courantes	67
2.2.6 Façades rideaux	15	3.7 Coefficient de transmission thermique des vitrines	67
2.2.7 Puits de lumière	17	3.8 Coefficient de transmission thermique des lanterneaux ponctuels	68
2.2.8 Parois en briques de verre	18	3.8.1 Coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière Ψ_1	68
2.2.9 Présentation des résultats	21	3.8.2 Coefficient de transmission thermique surfacique à travers un lanterneau ponctuel	69
2.3 Calcul des éléments de la paroi vitrée	21		
2.3.1 Éléments de remplissage	21		
2.3.2 La menuiserie	26		
2.3.3 La jonction : menuiserie – élément de remplissage	36		
2.3.4 Fermetures	37		
2.3.5 Coffres de volet roulant	38		
3. Valeurs par défaut	40		
3.1 Coefficient U_g des vitrages en partie courante, en W/(m².K)	41		
3.1.1 Vitrages simples	41		
3.1.2 Doubles vitrages verticaux	42		

1. Introduction

Ce fascicule décrit les méthodes pour la détermination des caractéristiques thermiques utiles des parois vitrées, (équipées ou non de fermetures ou de stores) et de leurs composants. Il ne traite pas les parois pariétodynamiques.

Le coefficient de transmission thermique surfacique utile de la paroi vitrée, déterminé selon ce fascicule, sert notamment :

- à la vérification de la caractéristique de la paroi vitrée par rapport aux exigences minimales éventuelles fixées par les réglementations thermiques en vigueur ;
- et/ou au calcul des déperditions par les parois du bâtiment ; la surface de la paroi vitrée prise en compte pour les fenêtres, portes et portes-fenêtres, est celle en tableau.

1.1 Références normatives

Les versions des normes suivantes en vigueur à la date de publication de ce document s'appliquent.

■ Normes d'essai

NF EN ISO 8302	Isolation thermique – Détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire – Méthode de la plaque chaude gardée.
NF EN ISO 12567-1	Isolation thermique des portes et fenêtres – Détermination de la transmission thermique par la méthode de la boîte chaude.
NF EN 674	Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode de l'anneau de garde.
NF EN 675	Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode du fluxmètre.
NF EN 12898	Verre dans la construction – Détermination de l'émissivité.
NF EN 12412-2	Fenêtres, portes et fermetures – Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude – Partie 2 : profilés de menuiserie.
NF EN 12412-4	Fenêtres, portes et fermetures – Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude – Partie 4 : coffres de volets roulants.

■ Normes de calcul

NF EN ISO 10077-1	Performances thermiques des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – Partie 1 : Méthode simplifiée.
NF EN ISO 10077-2	Performances thermiques des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – Partie 2 : Méthode numérique pour profilés de menuiserie.
NF EN 1096	Verre dans la construction – Verre à couche.
NF EN 572	Verre dans la construction – Produits de base : verre de silicate sodo-calcique.
NF EN 673	Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode de calcul.
NF EN 13947	Performances thermiques des façades rideaux – Calcul du coefficient de transmission thermique – Méthode simplifiée.
NF EN ISO 6946	Composants et parois de bâtiments – Résistance thermique et coefficient de transmission thermique – Méthode de calcul.

- NF 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.
- NF EN ISO 10211-1** Ponts thermiques dans les bâtiments – Flux thermiques et températures superficielles – Calculs détaillés.

1.2 Définitions, symboles et indices

1.2.1 Définitions

Dans ce document, les définitions suivantes s'appliquent :

- **élément de remplissage** : il s'agit généralement soit d'un vitrage (simple, double ou triple), soit d'un panneau opaque (ou translucide) ;
- **menuiserie** : ensemble de profilés, fixes, dormants ou ouvrants (incluant les joints, mastics et produits d'étanchéité) pouvant encadrer l'élément de remplissage ;
- **aire projetée** : aire de la surface projetée sur un plan parallèle à l'élément de remplissage de la paroi vitrée ;
- **aire développée** : surface de toutes les parties, d'un élément donné, en contact direct avec l'ambiance, intérieure ou extérieure, selon le cas ;
- **cavité d'air** : volume d'air dont la largeur de la section transversale, en partie courante, est inférieure à dix fois son épaisseur ;
- **lame d'air** : volume d'air dont la largeur de la section transversale, en partie courante, est supérieure à dix fois son épaisseur ;
- **cavité d'air non ventilée** : cavité complètement fermée ou qui communique avec l'extérieur par le biais d'un interstice ne dépassant pas 2 mm ;
- **cavité d'air partiellement ventilée** : cavité dont la profondeur est supérieure ou égale à la largeur $2 < l < 10$ mm de l'unique interstice à travers lequel elle communique avec l'extérieur ;
- **cavité d'air fortement ventilée** : cavité dont la profondeur est inférieure à la largeur $2 < l < 10$ mm de l'unique interstice à travers lequel elle communique avec l'extérieur ou cavité qui communique avec l'extérieur par le biais d'un interstice de largeur $l > 10$ mm ;
- **bloc-baie** : dit également bloc-fenêtre, il s'agit d'un composant destiné à être mis en œuvre dans une baie et constitué d'une fenêtre (ou porte-fenêtre) avec sa fermeture, montées en usine ;
- **façade rideau** : façade légère constituée d'un assemblage de profilés d'ossature et de menuiserie et d'éléments de remplissage opaques, transparents, ou translucides. Elle peut comporter une ou plusieurs parois et elle est située entièrement en avant d'un nez de plancher.
- **Avis Technique** : on entend par Avis Technique tout avis formulé conformément à l'arrêté du 21 mars 2012 relatif à la commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application sur des procédés matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction, délivré en vue d'établir l'aptitude à l'emploi des procédés, matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.
- **Agrément Technique Européen** : appréciation technique favorable de l'aptitude d'un produit à l'usage prévu, fondée sur la satisfaction des exigences essentielles prévues pour les ouvrages dans lesquels le produit doit être utilisé (directive 89/106/CEE, article 8). Il est délivré par un organisme d'agrément, membre de l'EOTA (*European Organisation for Technical Approvals*), habilité et désigné par son État membre.
- **certification** : on entend par certification toute activité par laquelle un organisme tierce partie accrédité COFRAC ou un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux couvrant l'activité de certification, atteste qu'un produit, un service ou une combinaison de produits et de services est conforme à des caractéristiques décrites dans un référentiel de certification. La certification est régie par les articles L115-27 à L 115-33 et R. 115-1 à R. 115-3 du code de la consommation.

1.2.2 Symboles

Symbole	Grandeur	Unité
U	Coefficient de transmission surfacique	W/(m ² .K)
ψ	Coefficient de transmission linéique	W/(m.K)
e	Épaisseur	m
R	Résistance thermique	m ² .K/W
A	Surface	m
l	Longueur, largeur	m
ΔR	Résistance additionnelle	m ² .K/W
T	Température	K
λ	Conductivité thermique	W/(m.K)
ε_n	Émissivité normale	-
ε	Émissivité corrigée	-
E	Émittance	-
F	Facteur de forme	-
h	Coefficient d'échanges superficiels	W/(m ² .K)
ϕ	Flux thermique par unité de longueur	W/m
H	Hauteur	m

1.2.3 Indices

cw	Façade rideau
s	Lame d'air ou de gaz, fermeture, store intérieur, extérieur ou entre vitrage
w	Fenêtre, porte ou porte-fenêtre nue
jn	Jour-nuit
f	Menuiserie
ws	Fenêtre, porte ou porte-fenêtre nue avec fermeture ou store
c	Coffre de volet roulant
eq	Équivalent
a	Convection
r	Rayonnement
g	Vitrage
bb	Bloc-baie
T	Plaque translucide
p	Panneau opaque

2. Méthodes de calcul

Une alternative à la méthode de calcul décrite ci-après est la mesure de la paroi vitrée ou de ses composants conformément aux normes d'essai citées au *paragraphe 1.1*. Cependant les résultats de mesure à la boîte chaude gardée ne sont généralement valables que pour l'éprouvette mesurée et ne peuvent, par conséquent, être étendus à d'autres parois ou composants similaires.

2.1 Principe

Une paroi vitrée nue est généralement constituée de deux composants principaux qui sont l'élément de remplissage et la menuiserie.

Cependant, pour le calcul thermique du coefficient moyen de la paroi, celle-ci doit être décomposée en trois parties distinctes :

1. la partie courante de l'élément de remplissage.
Elle se caractérise par un coefficient de transmission surfacique qui exclut l'effet de bord, et qui est valable sur toute la surface visible de l'élément de remplissage ;
2. la jonction entre la menuiserie et l'élément de remplissage.
Elle se caractérise par un coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné du bord de l'élément de remplissage et de la menuiserie. Ce coefficient s'applique au périmètre de la partie visible de l'élément de remplissage ;
3. la menuiserie.
Elle se caractérise par un coefficient de transmission surfacique moyen valable sur toute la surface de la menuiserie.

Pour calculer le coefficient moyen de la paroi nue, on procède tout d'abord au calcul des trois coefficients correspondant aux trois zones, puis on détermine le coefficient moyen de la paroi par la pondération respective de chaque coefficient par le ratio entre son aire ou son linéaire et l'aire totale de la paroi.

Le coefficient de transmission thermique de la paroi vitrée doit être déterminé en fonction de ses vraies dimensions et de ses vrais constituants (profilés, vitrage, intercalaire, partie opaque éventuelle).

Quant au coefficient U_{ws} , il sera calculé après détermination de la résistance complémentaire totale ΔR apportée à la paroi vitrée par la résistance thermique propre de la fermeture et celle de la lame d'air située entre la fermeture, le store extérieur, le store intérieur ou le store entre vitrages et la paroi (cf. *paragraphes 2.2.3 et 2.2.4*).

2.2 Calcul de la paroi vitrée

Ce paragraphe donne les formules générales pour le calcul du coefficient moyen de la paroi vitrée nue en fonction des caractéristiques thermiques de ses éléments. Le *paragraphe 2.3* est consacré aux méthodes de calcul des différents éléments.

2.2.1 Fenêtres, portes et portes-fenêtres

Le coefficient de transmission surfacique moyen de la fenêtre, porte ou porte-fenêtre peut être déterminé soit par calcul conformément à la méthode donnée ci-après (conforme à la norme NF EN ISO 10077 parties 1 et 2), soit par mesure à la boîte chaude gardée selon la norme NF EN ISO 12567-1. Cependant les résultats de mesure à la boîte chaude gardée ne sont généralement valables que pour l'éprouvette mesurée et ne peuvent par conséquent être étendus à d'autres fenêtres, portes ou portes-fenêtres.

2.2.1.1 Simple paroi

En l'absence de valeurs mesurées ou calculées selon ces normes, des valeurs par défaut sont données au *chapitre 3* et utilisables dans les limites fixées.

Les dimensions à prendre en compte pour le calcul du coefficient surfacique moyen U_w sont les dimensions hors tout de la fenêtre, de la porte ou de la porte-fenêtre, prises indépendamment de la mise en œuvre. Tout débordement dû aux recouvrements éventuels est à exclure (cf. figure 1).

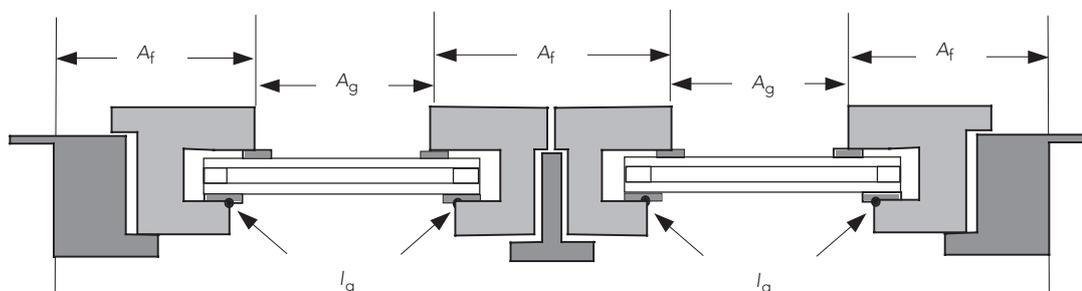


Figure 1 : Dimensions des différents composants de la fenêtre

Le coefficient de transmission thermique U_w de la fenêtre, de la porte ou de la porte-fenêtre peut être calculé selon la formule suivante :

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + \psi_g l_g}{A_g + A_f} \quad (\text{Formule 1});$$

où

A_g est la plus petite des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi en m^2 . On ne tient pas compte des débordements des joints ;

A_f est la plus grande aire projetée de la menuiserie prise sans recouvrements (incluant la surface de la pièce d'appui éventuelle), vue des deux côtés de la paroi, en m^2 ;

l_g est la plus grande somme des périmètres visibles du vitrage, vus des deux côtés de la paroi en m ;

U_g est le coefficient de transmission thermique surfacique utile en partie centrale du vitrage en $W/(m^2.K)$:

a – Dans le cas général d'un produit marqué « CE », le coefficient surfacique utile du vitrage isolant prend les valeurs suivantes :

$U_g = 1,05 U_{g,d}$ si verre à couche basse émissivité ou vitrage isolant à couche basse émissivité et remplissage air ;

$U_g = 1,10 U_{g,d}$ si vitrage isolant à couche basse émissivité et remplissage gaz autre que l'air.

$U_{g,d}$ étant le coefficient de transmission surfacique du vitrage, déclaré dans le cadre du marquage « CE ».

b – Dans le cas d'un produit non marqué « CE », le coefficient de transmission surfacique utile U_g est déterminé d'après le § 2.3.1 ou d'après le chapitre 3 (valeurs par défaut) de ce fascicule.

U_f est le coefficient surfacique moyen de la menuiserie en $W/(m^2.K)$ calculé selon la formule suivante :

$$U_f = \frac{\sum U_{fi} A_{fi}}{A_f} \quad (\text{Formule 2});$$

où

U_{fi} est le coefficient surfacique du montant ou de la traverse numéro « i ». La méthode de calcul des coefficients U_{fi} est donnée au paragraphe 2.3.2 ;

A_{fi} est son aire projetée correspondante. La largeur des montants en partie courante est supposée se prolonger sur toute la hauteur de la fenêtre ;

ψ_g est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'intercalaire du vitrage et du profilé, en W/(m.K). La méthode de calcul de ψ_g est donnée au *paragraphe 2.3.3*.

Lorsque le vitrage est remplacé en partie par un panneau opaque, U_w doit être calculé par la formule ci-après :

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + U_p A_p + \psi_g l_g + \psi_p l_p}{A_g + A_f + A_p} \quad (\text{Formule 3});$$

où

U_p est le coefficient surfacique en partie centrale du panneau opaque en W/(m².K). La méthode de calcul correspondante est donnée au *paragraphe 2.3.1* ;

ψ_p est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'espaceur du panneau et du profilé, en W/(m.K). La méthode de calcul de ψ_p est donnée au *paragraphe 2.3.3* ;

l_p est la plus grande somme des périmètres visibles du panneau, vus des deux côtés de la paroi en m.

2.2.1.2 Double paroi

Il s'agit d'un système constitué de deux fenêtres, deux portes ou deux portes-fenêtres, séparées par une lame d'air. Le coefficient surfacique moyen résultant se calcule en fonction des coefficients surfaciques individuels des deux parois U_{w1} , U_{w2} et de la résistance thermique de la lame d'air R_s :

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - (R_{si} + R_{se}) + R_s + \frac{1}{U_{w2}}} \quad (\text{Formule 4});$$

où

R_{si} et R_{se} sont les résistances superficielles, intérieures et extérieures, données au *tableau VI* du *paragraphe 2.3.1*.

Cette méthode n'est pas applicable lorsque la lame d'air communique avec l'extérieur par le biais d'ouvertures dont l'aire équivalente dépasse 500 mm² par mètre de longueur de paroi pour les lames verticales (pour une lame horizontale voir le fascicule 4 « Parois opaques »), sans qu'aucune disposition ne soit entreprise pour limiter les échanges d'air avec l'extérieur.

Les valeurs de R_s correspondant à une lame verticale sont données dans le tableau suivant :

Tableau I : Résistance thermique des lames d'air non ventilées – Surfaces à forte émissivité

Épaisseur de la lame d'air e mm	Résistance de la lame d'air R_s m ² .K/W
0	0,00
5	0,11
7	0,13
10	0,15
15	0,17
$25 \leq e \leq 300$	0,18

Note : les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

2.2.2 Lanterneaux

Le coefficient de transmission surfacique utile du lanterneau, peut être déterminé soit par calcul conformément à la méthode donnée ci-après, soit par mesure à la boîte chaude gardée selon la norme NF EN ISO 12567-2. Dans ce dernier cas les résultats d'une mesure ne sont généralement valables que pour l'éprouvette mesurée et ne peuvent par conséquent être étendus à d'autres lanterneaux.

En l'absence de valeurs mesurées selon la norme NF EN ISO 12567-2 ou calculées selon la présente méthode, des valeurs par défaut sont données au *chapitre 3*.

Les méthodes de calcul données ci-après s'appliquent aux lanterneaux ponctuels et filants comportant une ou plusieurs plaques translucides à base de matière plastique.

2.2.2.1 Lanterneaux ponctuels



Figure 2 : Lanterneau ponctuel

Le coefficient de transmission thermique U_w des lanterneaux ponctuels se calcule d'après la formule suivante :

$$U_w = \frac{U_t A_t + \psi_1 L_1 + \psi_2 L_2}{A_p} ;$$

où

A_t est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide, vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 ;

L_1 est le périmètre intérieur de la costière, exprimé en m ;

L_2 est la longueur du profil central pour des lanterneaux à deux vantaux, exprimée en m ;

A_p est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m^2 ;

U_t est le coefficient surfacique en partie centrale de la plaque translucide en $W/(m^2.K)$:

a – dans le cas général d'un produit marqué « CE », le coefficient surfacique utile de la plaque prend la valeur suivante :

$$U_t = U_{t,d} ;$$

$U_{t,d}$ étant le coefficient de transmission surfacique de la plaque, déclaré dans le cadre du marquage « CE ».

b – dans le cas d'un produit non marqué « CE », le coefficient de transmission surfacique utile U_t est déterminé par simulation numérique d'après la formule ci-après :

$$U_t = \frac{\phi_t}{\Delta T b_t}$$

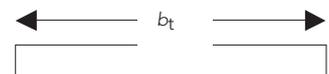


Figure 3 : Modèle numérique de la plaque translucide

où

ϕ_t est le flux thermique à travers un modèle de la plaque de longueur b_t , en W ;

ΔT est la différence de température entre les deux ambiances situées de part et d'autre du modèle, en K ;

b_t est la longueur du modèle en m ;

La conductivité thermique des alvéoles d'air est déterminée selon la méthode utilisée pour les profilés de menuiserie.

ψ_1 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière, le profil de rive et leur jonction avec la plaque translucide, exprimé en $W/(m.K)$. ψ_1 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_t = 190$ mm) :

$$\psi_1 = \frac{\phi_1}{\Delta T} - U_t \times l_t ;$$

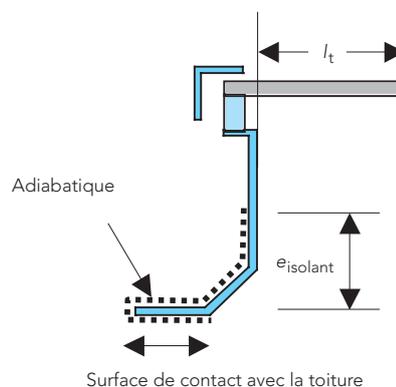


Figure 4 : Coupe transversale au niveau de la costière

ψ_2 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé central pour lanterneau à deux vantaux, exprimé en $W/(m.K)$. ψ_2 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_t = 190$ mm) :

$$\psi_2 = \frac{\phi_2}{\Delta T} - 2 \times U_t \times l_t.$$

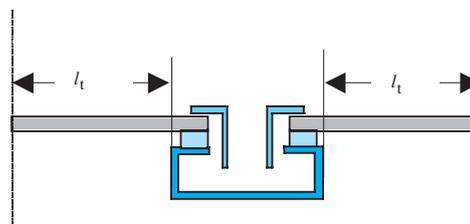


Figure 5 : Coupe transversale au niveau du profilé central

2.2.2.2 Lanterneaux filants

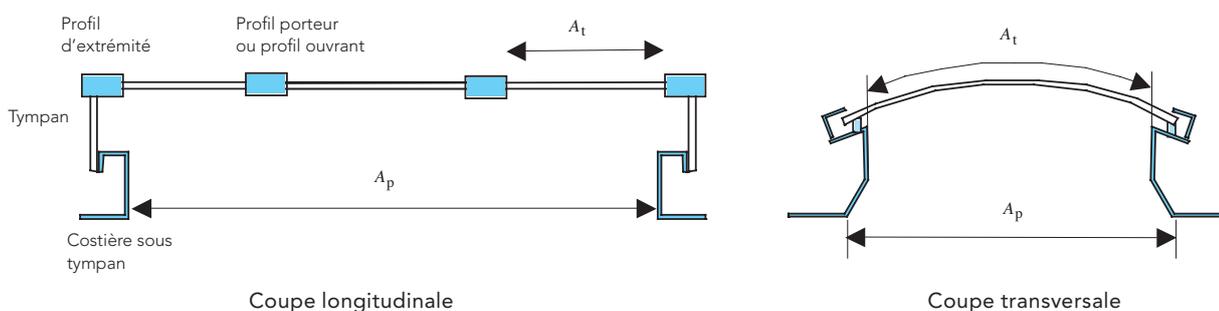


Figure 6 : Lanterneau filant

Le coefficient de transmission thermique U_w des lanterneaux filants se calcule selon la formule suivante :

$$U_w = \frac{\sum U_t A_t + \psi_1 L_1 + \psi_2 L_2 + \psi_3 L_3 + \psi_4 L_4}{A_p} ;$$

où

A_t est la plus petite des aires développées visibles de chaque plaque translucide composant le lanterneau, vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 ;

L_1 est la longueur de la costière longitudinale vue de l'intérieur, exprimé en m ;

L_2 est la longueur du profil porteur, exprimée en m ;

L_3 est la longueur du profil d'extrémité, exprimée en m ;

- L_4 est la longueur de la costière sous tympans vue de l'intérieur, exprimée en m ;
- A_p est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m^2 ;
- U_t est le coefficient surfacique en partie centrale de chaque plaque translucide en $W/(m^2.K)$. Son mode de calcul est donné au *paragraphe 2.2.2.1*.
- ψ_1 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière, le profilé de rive et leur jonction avec la plaque translucide, exprimé en $W/(m.K)$. ψ_1 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_t = 190$ mm) :

$$\psi_1 = \frac{\varphi_1}{\Delta T} - U_t \times l_t ;$$

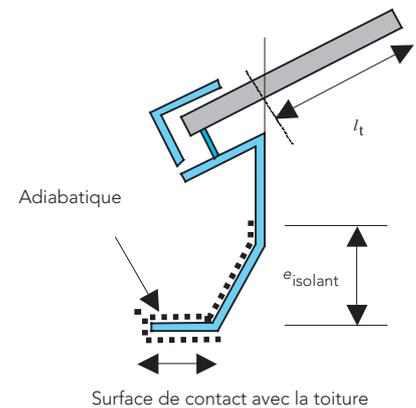


Figure 7 : Coupe transversale au niveau de la costière

- ψ_2 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profil porteur ou le profil ouvrant, exprimé en $W/(m.K)$. ψ_2 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_t = 190$ mm) :

$$\psi_2 = \frac{\varphi_2}{\Delta T} - 2 \times U_t \times l_t ;$$

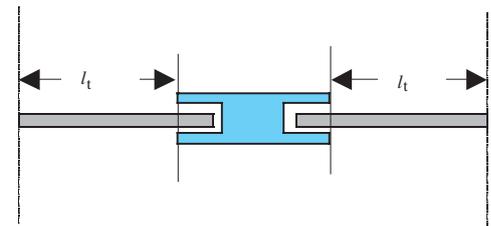


Figure 8 : Coupe transversale au niveau du profil porteur ou profil ouvrant

- ψ_3 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profil d'extrémité, exprimé en $W/(m.K)$. ψ_3 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_t = 190$ mm) :

$$\psi_3 = \frac{\varphi_3}{\Delta T} - (U_{t1} + U_{t2}) \times l_t ;$$

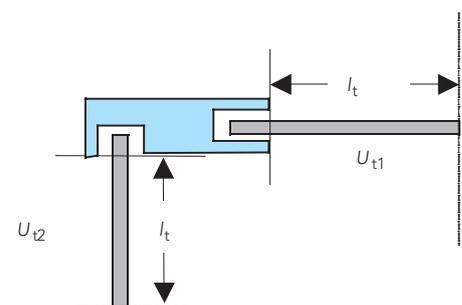


Figure 9 : Coupe transversale au niveau du profil d'extrémité

- ψ_4 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière sous tympans, exprimé en $W/(m.K)$. ψ_4 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_t = 190$ mm) :

$$\psi_4 = \frac{\varphi_4}{\Delta T} - U_t \times l_t.$$

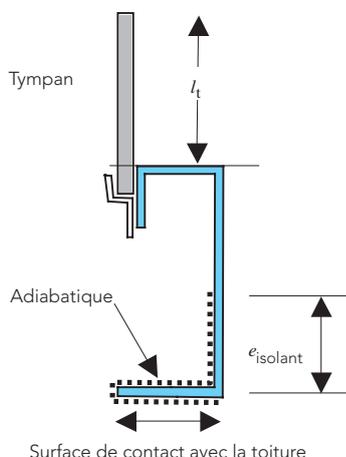


Figure 10 : Coupe transversale au niveau de la costière sous tympan

2.2.3 Paroi vitrée avec fermetures et stores

Ce paragraphe donne la méthode de calcul du coefficient U des parois vitrées équipées de fermetures et stores. Cette méthode reprend les principes établis par les normes NF EN ISO 10077-1 et NF EN 13125.

Le coefficient U_{ws} des fenêtres équipées d'une fermeture extérieure ou d'un store intérieur, extérieur ou entre vitrages est donné par formule :

$$U_{ws} = \frac{1}{(1/U_w + \Delta R)} \quad (\text{Formule 5});$$

où

U_w est le coefficient U de la paroi vitrée, en $W/(m^2.K)$, donné au paragraphe 2.2.1 ;

ΔR est la résistance thermique additionnelle, en $m^2.K/W$, apportée par l'ensemble fermeture ou store – lame d'air ventilée. Les valeurs de ΔR sont données aux paragraphes 2.2.3.1 et 2.2.3.2 pour les différentes classes de perméabilité à l'air, retenues pour les fermetures et pour les stores. ΔR doit être arrondie à deux chiffres significatifs.

2.2.3.1 Fermetures extérieures

Les fermetures extérieures sont réparties du point de vue de leur perméabilité à l'air en cinq classes.

Le critère d'évaluation de la perméabilité peut être exprimé par la somme des largeurs des interstices de montage de la fermeture par rapport au gros œuvre. Cette largeur totale est exprimée par e_{tot} en mm et est donnée par l'expression :

$$e_{tot} = e_1 + e_2 + e_3 \quad (\text{mm}) \quad (\text{Formule 6});$$

où

e_1 , e_2 et e_3 sont les largeurs moyennes des interstices : haut, bas et latéral. Ces valeurs sont définies sur la figure 11.

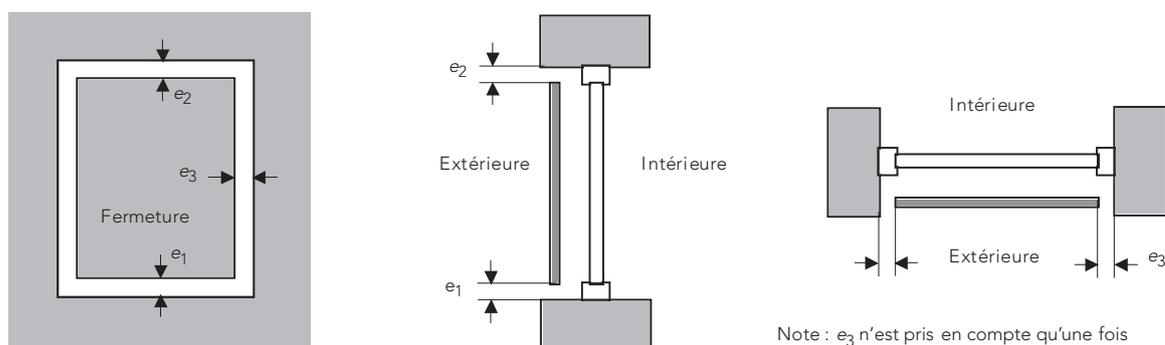


Figure 11 : Largeurs moyennes des interstices

De ce point de vue les cinq classes de fermetures extérieures sont définies comme suit :

- **classe 1** : les fermetures de très forte perméabilité : $e_{\text{tot}} \geq 35$ mm. De plus ces fermetures peuvent comporter en partie courante des ajours complémentaires ;
- **classe 2** : les fermetures de forte perméabilité : $15 \text{ mm} \leq e_{\text{tot}} < 35$ mm ;
- **classe 3** : les fermetures de perméabilité moyenne : $8 \leq e_{\text{tot}} < 15$ mm ;
- **classe 4** : les fermetures de faible perméabilité : $e_{\text{tot}} \leq 8$ mm ;
- **classe 5** : les fermetures de très faible perméabilité : $e_{\text{tot}} \leq 3$ mm et $e_1 + e_3 = 0$, ou $e_2 + e_3 = 0$.
Ces fermetures ne permettent pas d'assurer l'entrée de l'air de ventilation des logements par des orifices disposés dans la menuiserie.

Nota : les fermetures de classe 2 et plus ne doivent pas comporter d'ajours en partie courante, sinon elles doivent être considérées en classe 1.

- **classe 1** – Fermetures de très forte perméabilité :
 $\Delta R = 0,08 \text{ (m}^2\cdot\text{K/W) (Formule 7) ;$
- **classe 2** – Fermetures de forte perméabilité :
 $\Delta R = 0,25 R_s + 0,09 \text{ (m}^2\cdot\text{K/W) (Formule 8) ;$
- **classe 3** – Fermetures de perméabilité moyenne :
 $\Delta R = 0,55 R_s + 0,11 \text{ (m}^2\cdot\text{K/W) (Formule 9) ;$
- **classe 4** – Fermetures de faible perméabilité :
 $\Delta R = 0,80 R_s + 0,14 \text{ (m}^2\cdot\text{K/W) (Formule 10) ;$
- **classe 5** – Fermetures de très faible perméabilité :
 $\Delta R = 0,95 R_s + 0,17 \text{ (m}^2\cdot\text{K/W) (Formule 11) ;$

R_s étant la résistance thermique de la fermeture, en $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$.

Ces formules ne sont valables que pour $R_s \leq 0,3 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$.

Les valeurs de R_s peuvent être déterminées par mesure ou par calcul selon le *paragraphe 2.3.4*.

À défaut de valeurs certifiées de la résistance additionnelle ΔR , les valeurs peuvent être obtenues soit par calcul selon le *paragraphe 2.2.3.1*, soit d'après le *tableau II* :

Tableau II : Résistances thermiques additionnelles des fermetures

Fermetures	ΔR m ² .K/W
Jalousie accordéon, fermeture à lames orientables y compris les vénitiens extérieurs tout métal, volets battants ou persiennes avec ajours fixes	0,08
Fermeture sans ajours en position déployée, volets roulants alu	0,15
Volet roulant PVC ($e \leq 12$ mm) Persienne coulissante ou volet battant PVC, volet battant bois, ($e \leq 22$ mm)	0,19 0,19
Persienne coulissante PVC et volet battant bois, ($e > 22$ mm) Volet roulant PVC ($e > 12$ mm)	0,25 0,25
Note : e est l'épaisseur du tablier.	

2.2.3.2 Stores extérieurs, intérieurs ou entre deux vitres

Les stores sont répartis du point de vue de leur perméabilité à l'air en cinq classes, en fonction :

- des interstices périphériques ;
- de la perméabilité à l'air du tablier en partie courante en position fermée.

Le critère de perméabilité est donné par la relation :

$$P_e = e_{\text{tot}} + 10p \text{ (en mm) ;}$$

où

e_{tot} est la somme en millimètres des interstices périphériques e_1 , e_2 et e_3 définis au paragraphe 2.2.3.1 ;

p est exprimé en pourcentage, et représente le rapport entre la surface des vides et la surface totale du tablier.

Pour les stores en toile, p est le coefficient d'ouverture déterminé selon la norme NF EN 14500.

Pour les stores vénitiens, p représente le rapport entre la somme des surfaces des interstices résiduels entre lames fermées et la surface du tablier. Sauf justification, on considérera une valeur forfaitaire $p = 4 \%$ pour ces produits.

2.2.3.2.1 Stores extérieurs

Les trois classes de perméabilité à l'air sont définies comme suit, et les valeurs de résistance thermique additionnelles correspondantes sont les suivantes :

- **classe 1** – Stores à forte ou très forte perméabilité à l'air : $P_e \geq 35$ mm :
 $\Delta R = 0,08$ m².K/W ;
- **classe 2** – Stores à perméabilité moyenne à l'air : $8 \text{ mm} \leq P_e < 35$ mm :
 $\Delta R = 0,11$ m².K/W ;
- **classe 3** – Stores à faible perméabilité à l'air : $P_e < 8$ mm :
 $\Delta R = 0,14$ m².K/W.

2.2.3.2.2 Stores intérieurs ou stores entre vitrage

Les trois classes de perméabilité à l'air sont définies comme suit, et les valeurs de résistance thermique additionnelles correspondantes sont les suivantes :

- **classe 1** – Stores à forte ou très forte perméabilité à l'air : $P_e \geq 80$ mm :
 $\Delta R = 0,08$ m².K/W ;
- **classe 2** – Stores à perméabilité moyenne à l'air : $20 \text{ mm} \leq P_e < 80$ mm :
 $\Delta R = 0,11$ m².K/W ;

- classe 3 – Stores à faible perméabilité à l'air : $P_e < 20 \text{ mm}$:

$$\Delta R = 0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}.$$

Les stores intérieurs à bandes verticales sont de niveau 1 quel que soit p .

Les valeurs de ΔR obtenues avec des stores incorporés au vitrage ne s'appliquent que si le store, en position fermée, ménage deux espaces libres d'au moins 12 mm d'épaisseur chacun entre le store et les parois du vitrage.

2.2.4 Coefficient U moyen jour-nuit

Le coefficient jour-nuit est une donnée d'entrée exclusivement utilisée pour l'application des réglementations thermiques faisant appel à un modèle de calcul mensuel, saisonnier ou annuel de la performance énergétique du bâtiment, notamment la RT2005 et la RT ex 2007-2008. La méthode de calcul correspondante est donnée ici à titre indicatif.

Dans les pièces du volume habitable, on admet que les fermetures associées aux parois vitrées sont considérées, à parts égales de degrés-heures, ouvertes ou fermées.

Cette convention résulte du constat que les fermetures sont fermées sur 20 % des parois vitrées durant le jour et 75 % la nuit. Les degrés-heures de jour représentant environ 45 % du total des degrés-heures et celles de nuit 55 %, la part des déperditions avec fermetures fermées a pour valeur :

$$0,20 \times 0,45 + 0,75 \times 0,55 \approx 0,50.$$

Cela conduit à la définition d'un « coefficient U moyen jour-nuit » dont l'expression est :

$$U_{jn} = \frac{U_w + U_{ws}}{2} \quad (\text{Formule 12}) ;$$

où

U_w est le coefficient de la paroi vitrée nue tel que défini au *paragraphe 2.2.1*, en $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

U_{ws} est le coefficient de la paroi vitrée avec fermeture tel que défini au *paragraphe 2.2.3*, en $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

L'effet des voilages et rideaux ne doit pas être pris en compte pour le calcul de U_{jn} .

Cela est également valable pour les stores, la durée relative à leur position étant généralement mal connue, sauf indication contraire figurant dans un document d'Avis Technique.

Le tableau XLVIII du *paragraphe 3.5* récapitule les différentes valeurs de U_{jn} en fonction de U_w et de la résistance additionnelle ΔR définie au *paragraphe 2.2.3*.

2.2.5 Blocs-baies

Ce paragraphe ne concerne que les blocs-baies réalisés avec des coffres de volet roulant. On distingue deux cas de configuration :

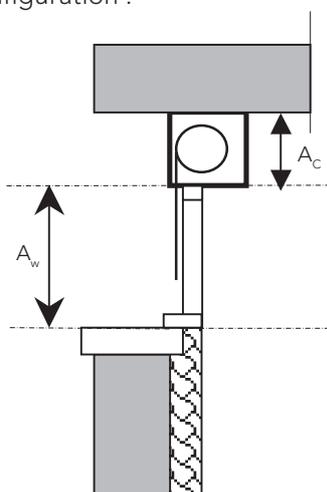


Figure 12 : Coffre de volet roulant dans la surface du tableau de la baie

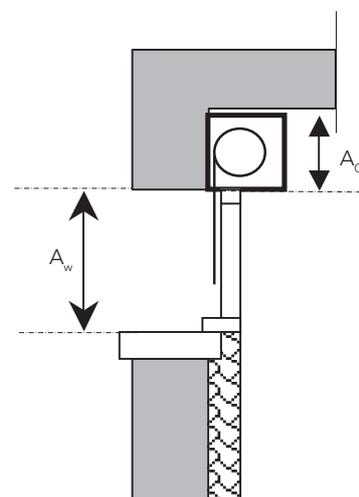


Figure 13 : Coffre de volet roulant en applique derrière le linteau

2.2.5.1 Calcul du bloc-baie

2.2.5.1.1 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant s'inscrit dans la surface du tableau de la baie (cf. figure 12)

Le coefficient $U_{bb,w}$ correspondant se calcule d'après la formule ci-après :

$$U_{bb,w} = \frac{U_w A_w + U_c A_c}{A_w + A_c};$$

où

$U_{bb,w}$ est le coefficient de transmission thermique du bloc baie, en $W/(m^2.K)$;

U_w est le coefficient de transmission thermique de la fenêtre tel que défini au *paragraphe 2.2.1*, en $W/(m^2.K)$;

U_c est le coefficient surfacique du coffre calculé au *paragraphe 2.3.5*, en $W/(m^2.K)$;

A_w est l'aire projetée de la paroi vitrée, en m^2 ;

A_c est l'aire projetée du coffre, en m^2 .

2.2.5.1.2 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau (cf. figure 13)

Dans ce cas, le coefficient U_{bb} ne s'applique qu'à la surface de paroi vitrée (A_w) prise sous le coffre de volet roulant. Ce dernier doit être considéré comme une paroi opaque et doit être calculé selon le *paragraphe 2.3.5* :

$$U_{bb,w} = U_w.$$

2.2.5.2 Calcul du bloc-baie avec sa fermeture

Le coefficient $U_{bb,ws}$ est donné par :

2.2.5.2.1 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant s'inscrit dans la surface du tableau de la baie (cf. figure 12)

Le coefficient $U_{bb,ws}$ correspondant se calcule d'après la formule ci-après :

$$U_{bb,ws} = \frac{U_{ws} A_w + U_c A_c}{A_w + A_c};$$

où

$U_{bb,ws}$ est le coefficient de transmission thermique du bloc-baie, en $W/(m^2.K)$;

U_{ws} est le coefficient de transmission thermique de la fenêtre avec fermeture tel que défini au *paragraphe 2.2.3*, en $W/(m^2.K)$;

U_c est le coefficient surfacique du coffre calculé au *paragraphe 2.3.5*, en $W/(m^2.K)$;

A_w est l'aire projetée de la paroi vitrée, en m^2 ;

A_c est l'aire projetée du coffre, en m^2 .

2.2.5.2.2 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau (cf. figure 13)

Dans ce cas, le coefficient U_{bb} ne s'applique qu'à la surface de paroi vitrée (A_w) prise sous le coffre de volet roulant. Ce dernier doit être considéré comme une paroi opaque et doit être calculé selon le *paragraphe 2.3.5* :

$$U_{bb,ws} = U_{ws}.$$

2.2.5.3 Coefficient jour-nuit du bloc-baie

Le coefficient jour-nuit est une donnée d'entrée exclusivement utilisée pour l'application des réglementations thermiques faisant appel à un modèle de calcul mensuel, saisonnier ou annuel de la performance énergétique du bâtiment. La méthode de calcul correspondante est donnée ci-après.

2.2.5.3.1 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant s'inscrit dans la surface du tableau de la baie (cf. figure 12)

Le coefficient $U_{\text{jour-nuit}}$ correspondant se calcule d'après la formule ci-après :

$$U_{\text{bb,jn}} = \frac{U_{\text{jn}} A_w + U_c A_c}{A_w + A_c} \quad (\text{Formule 13}) ;$$

où

$U_{\text{bb,jn}}$ est le coefficient jour-nuit du bloc-baie, en $W/(m^2.K)$;

U_{jn} est le coefficient jour-nuit de la paroi vitrée tel que défini au *paragraphe 2.2.4*, en $W/(m^2.K)$;

U_c est le coefficient surfacique du coffre calculé au *paragraphe 2.3.5*, en $W/(m^2.K)$;

A_w est l'aire projetée de la paroi vitrée, en m^2 ;

A_c est l'aire projetée du coffre, en m^2 .

2.2.5.3.2 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau (cf. figure 13)

Dans ce cas, le coefficient $U_{\text{jour-nuit}}$ ne s'applique qu'à la surface de paroi vitrée (A_w) prise sous le coffre de volet roulant.

Ce dernier doit être considéré comme une paroi opaque et doit être calculé selon le *paragraphe 2.3.5*.

2.2.6 Façades rideaux

Ne sont concernées par ce paragraphe que les façades rideaux définies au *paragraphe 1.2* et par la norme NF DTU 33.1.

La méthode de calcul détaillée correspondante est décrite dans la norme NF EN 13947.

Pour calculer le coefficient surfacique moyen d'une façade rideau, on procède de la manière suivante :

1. on divise la façade en modules.
Les frontières des modules doivent être choisies de façon à obtenir des modules répétitifs juxtaposés simples à calculer. Le plus souvent, ces frontières sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la façade. La norme EN 13947 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières ;
2. on détermine les coefficients surfaciques et linéiques des éléments de chaque module.
Chaque module peut contenir à la fois différents types d'éléments : éléments de remplissage vitrés ou opaques, profilés de menuiserie, espaceurs de vitrages ou de panneaux opaques. La méthode de calcul de ces éléments est donnée au *paragraphe 2.3* ;
3. on détermine le coefficient surfacique moyen U_{cwi} de chaque module.

$$U_{\text{cwi}} = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_f A_f + \sum U_p A_p + \sum \psi_g l_g + \sum \psi_p l_p}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad (\text{Formule 14}) ;$$

où

$A_g^{(1)}$ est la plus petite aire visible du vitrage, vue des deux côtés de la paroi en m^2 . On ne tient pas compte des débordements des joints ;

1. Dans le cas de façades rideaux, les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au « voisinage immédiat » de l'élément de remplissage (cf. figure 14).

- $A_f^{(1)}$ est la plus grande aire projetée de la menuiserie prise sans recouvrement, vue des deux côtés de la paroi, en m^2 ;
- $A_p^{(1)}$ est la plus petite aire visible du panneau opaque, vue des deux côtés de la paroi en m^2 . On ne tient pas compte des débordements des joints ;
- U_g est le coefficient de transmission thermique surfacique utile en partie centrale du vitrage en $W/(m^2.K)$:
- a** – Dans le cas général d'un produit marqué « CE » le coefficient surfacique utile du vitrage isolant prend les valeurs suivantes :
- $U_g = 1.05 U_{g,d}$ si verre à couche basse émissivité ou vitrage isolant à couche basse émissivité et remplissage air ;
- $U_g = 1.10 U_{g,d}$ si vitrage isolant à couche basse émissivité et remplissage gaz autre que l'air ;
- $U_{g,d}$ étant le coefficient de transmission surfacique du vitrage, déclaré dans le cadre du marquage « CE ».
- b** – Dans le cas d'un produit non marqué « CE », le coefficient de transmission surfacique utile U_g est déterminé d'après le § 2.3.1 ou d'après le chapitre 3 (valeurs par défaut) de ce fascicule ;
- U_f est le coefficient surfacique de la menuiserie en $W/(m^2.K)$;
- U_p est le coefficient surfacique en partie centrale du panneau opaque en $W/(m^2.K)$. La méthode de calcul correspondante est donnée au *paragraphe 2.3.1* ;
- l_p est le plus grand périmètre visible du panneau, vu des deux côtés de la paroi en m ;
- l_g est le plus grand périmètre visible du vitrage, vu des deux côtés de la paroi, en m ;
- ψ_g est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'intercalaire du vitrage et du profilé, en $W/(m.K)$. La méthode de calcul de ψ_g est donnée au *paragraphe 2.3.3* ;
- ψ_p est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'espaceur du panneau et du profilé, en $W/(m.K)$. La méthode de calcul de ψ_p est donnée au *paragraphe 2.3.3*.

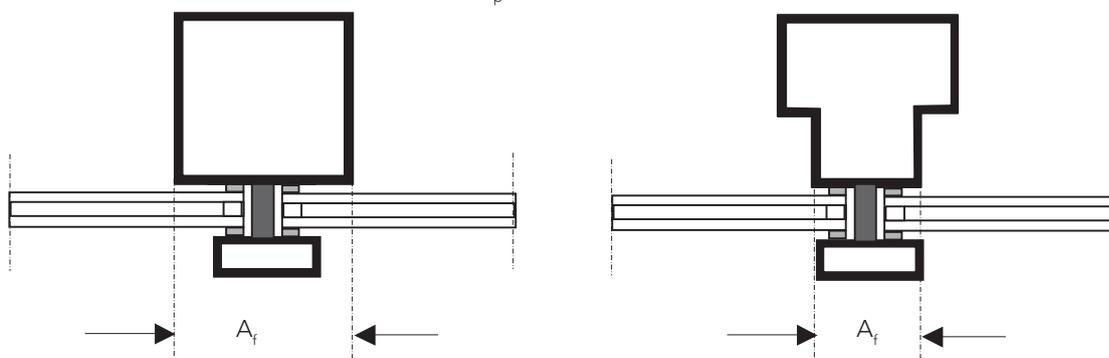


Figure 14 : Aires projetées visibles de la menuiserie

4. on détermine le coefficient surfacique moyen de la façade.

Le coefficient surfacique moyen de la façade $U_{cw,tot}$ se calcule d'après la formule suivante :

$$U_{cw,tot} = \frac{\sum (U_{cwi} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}} \quad (\text{Formule 15}) ;$$

où

- $U_{cw,tot}$ est le coefficient surfacique moyen de la façade rideau, en $W/(m^2.K)$;
- U_{cwi} est le coefficient surfacique moyen du module i , en $W/(m^2.K)$;
- A_{cwi} est l'aire projetée du module i , en m^2 .

1. Dans le cas de façades rideaux, les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au « voisinage immédiat » de l'élément de remplissage (cf. figure 14).

2.2.7 Puits de lumière

Un puits de lumière est utilisé pour acheminer la lumière naturelle à l'intérieur des locaux. Il est constitué de trois éléments essentiels qui sont le dôme capteur, le convoyeur revêtu d'un film ultra réfléchissant et le diffuseur.

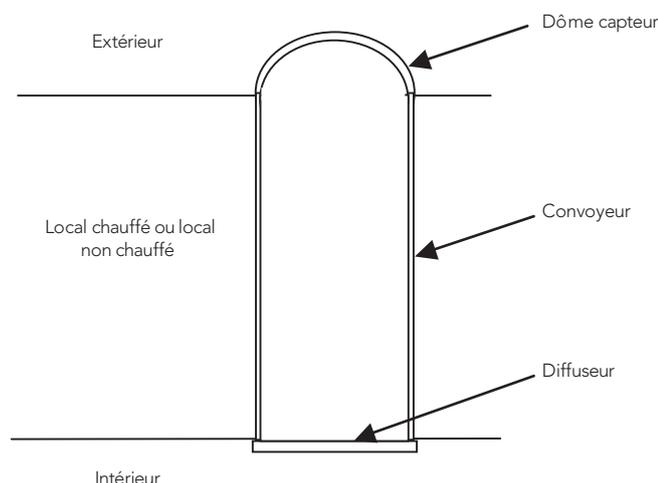


Figure 15 : Puits de lumière

2.2.7.1 Puits de lumière traversant un local non chauffé

Les déperditions thermiques par transmission à travers le puits de lumière D_{puits} , en W, sont calculées comme suit :

$$D_{\text{puits}} = U_{\text{diffuseur}} \times A_{\text{diffuseur}} \times b \times (T_i - T_e) ;$$

où

$U_{\text{diffuseur}}$ est le coefficient de transmission surfacique du diffuseur calculé d'après le présent fascicule, en $W/(m^2.K)$;

$A_{\text{diffuseur}}$ est la surface du diffuseur, en m^2 ;

b est le coefficient de réduction des déperditions du local non chauffé, déterminé d'après le fascicule 1 (Généralités) ;

$T_i - T_e$ est la différence de température entre les ambiances intérieure et extérieure, en K.

2.2.7.2 Puits de lumière traversant un local chauffé

Les déperditions thermiques par transmission à travers le puits de lumière sont calculées comme suit :

$$D_{\text{puits}} = [(U_{\text{diffuseur}} \times A_{\text{diffuseur}}) + (U_{\text{convoyeur}} \times A_{\text{convoyeur}})] \times b' \times (T_i - T_e) ;$$

où

b' est le coefficient de réduction des déperditions correspondant au puits de lumière :

$$b' = \frac{U_{\text{dôme}} A_{\text{dôme}}}{U_{\text{dôme}} A_{\text{dôme}} + U_{\text{diffuseur}} A_{\text{diffuseur}} + U_{\text{convoyeur}} A_{\text{convoyeur}}} ;$$

$U_{\text{convoyeur}}$ est le coefficient de transmission surfacique du convoyeur calculé d'après le fascicule 4 (Parois opaques), en $W/(m^2.K)$;

$A_{\text{convoyeur}}$ est la surface du convoyeur, en m^2 ;

$U_{\text{dôme}}$ est le coefficient de transmission surfacique du dôme capteur, calculé d'après le présent fascicule, en $W/(m^2.K)$;

$A_{\text{dôme}}$ est la surface du dôme capteur, en m^2 .

2.2.8 Parois en briques de verre

2.2.8.1 Domaine d'emploi

La présente méthode s'applique aux parois en brique de verre verticale ou horizontale insérées dans une baie.

Les parois sont constituées de briques à simples rangées ou à double rangées et comportant deux ou trois cloisons. Les briques sont assemblées entre elles au moyen d'un joint intermédiaire en mortier et d'un cadre périphérique en mortier ou en béton en contact avec le mur adjacent.

2.2.8.2 Méthode générale

Le coefficient de transmission thermique surfacique U_w d'une paroi en brique de verre se calcule d'après la formule suivante :

$$U_w = U_g + \Delta U ;$$

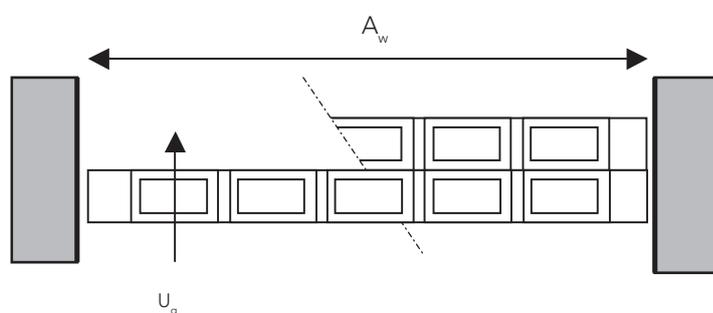


Figure 16 : Coupe horizontale

$$\Delta U = \frac{\psi_1 \cdot L_1 + \psi_2 \cdot L_2}{A_w} ;$$

où

U_g est le coefficient de transmission surfacique en partie courante de la brique de verre calculé selon le paragraphe 2.3.1 ;

ψ_1 est le coefficient de transmission linéique induit par le joint intermédiaire et les cloisons latérales des briques de verre, exprimé en $W/(m.K)$;

ψ_2 est le coefficient de transmission linéique induit par le cadre périphérique de la paroi, exprimé en $W/(m.K)$;

L_1 est la longueur totale ($\sum h + \sum l$) des joints intermédiaires, exprimée en m ;

L_2 est le périmètre de l'ouverture dans laquelle est insérée la paroi en brique de verre, exprimée en m ;

A_w est la surface de l'ouverture dans laquelle est insérée la paroi en brique de verre, exprimée en m^2 .

Les coefficients ψ_1 et ψ_2 se calculent numériquement en 2D selon la méthode de calcul décrite au chapitre 2 (Méthodes de calcul des ponts thermiques) du fascicule 5 (Ponts thermiques).

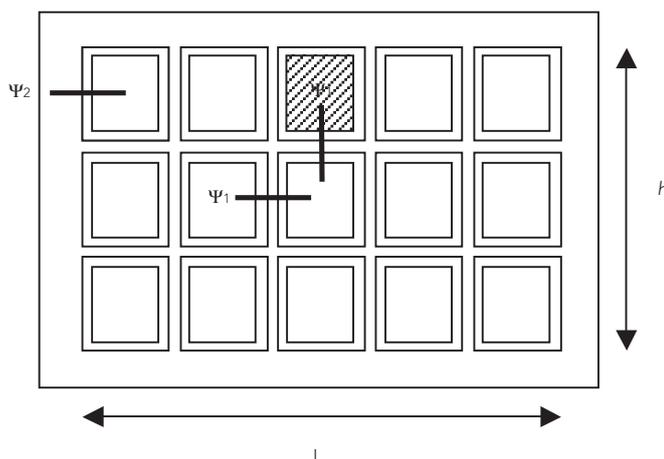


Figure 17 : Vue de face d'un panneau

Le coefficient de transmission surfacique U_w peut également être calculé directement par une simulation numérique en 3D de la paroi complète. Dans ce cas on doit appliquer la formule suivante :

$$U_w = \frac{\varphi}{\Delta T A_w} ;$$

où

φ est le flux de chaleur obtenu sur le modèle complet de la paroi et calculé numériquement en appliquant une condition adiabatique au contact entre le cadre périphérique et le gros œuvre, exprimé en W ;

ΔT est la différence de température entre les ambiances intérieure et extérieure, en K.

2.2.8.3 Valeurs tabulées

2.2.8.3.1 Hypothèses

- Épaisseur des cloisons des briques de verre 12 mm.
- Joint en mortier traditionnel.
- L'épaisseur totale des parois simple rangée est de 90 mm.
- L'épaisseur totale des parois double rangées est de 180 mm.
- Bord en béton.

2.2.8.3.2 Valeurs par défauts

Les valeurs U_g à prendre en compte en l'absence d'informations plus précises sont données dans le *tableau III* ci-dessous :

Tableau III : Coefficient U_g en W/(m².K)

Configuration	Inclinaison	
	Paroi verticale	Paroi horizontale
– Parois simple rangée composées de brique à deux cloisons	2,7	3,0
– Parois simple rangée composées de brique à deux cloisons avec une couche basse émissivité – Brique simple rangée composées de briques à trois cloisons – Parois double rangées composées de briques à deux cloisons	1,7	1,8

Les valeurs Ψ_1 à prendre en compte en l'absence de résultats de calcul numérique plus précis sont données dans le *tableau IV* ci-dessous :

Tableau IV : Coefficient Ψ_1 en W/(m.K)

Configuration	Épaisseur du joint (hors cloison de verre)	
	10 mm	30 mm
– Parois simple rangée composées de brique à deux cloisons – Parois double rangées composées de briques à deux cloisons	0,06	0,10
– Parois simple rangée composées de brique à deux cloisons avec une couche basse émissivité – Brique simple rangée composées de briques à trois cloisons	0,13	0,19

Note : interpolations possibles pour des épaisseurs de joints intermédiaires.

Les valeurs Ψ_2 à prendre en compte en l'absence de résultats de calcul numérique plus précis sont données dans le tableau V ci-dessous :

Tableau V : Coefficient Ψ_2 en W/(m.K)

Bord	Largeur visible du cadre		
	≤ 20 mm	> 20 mm ≤ 45 mm	> 45 mm ≤ 90 mm
– Parois simple rangée composées de brique à deux cloisons – Parois double rangées composées de briques à deux cloisons	0,07	0,12	0,21
– Parois simple rangée composées de brique à deux cloisons avec une couche basse émissivité – Brique simple rangée composées de briques à trois cloisons	0,13	0,21	0,35

■ Exemple de calcul de ΔU

Description générale du panneau :

- dimension 88 x 128 cm ;
- constitué de briques de dimension 190 x 190 x 90 mm ;
- joint mortier entre brique de verre de 1 cm ;
- cadre en béton de 4,5 cm ;
- paroi verticale.

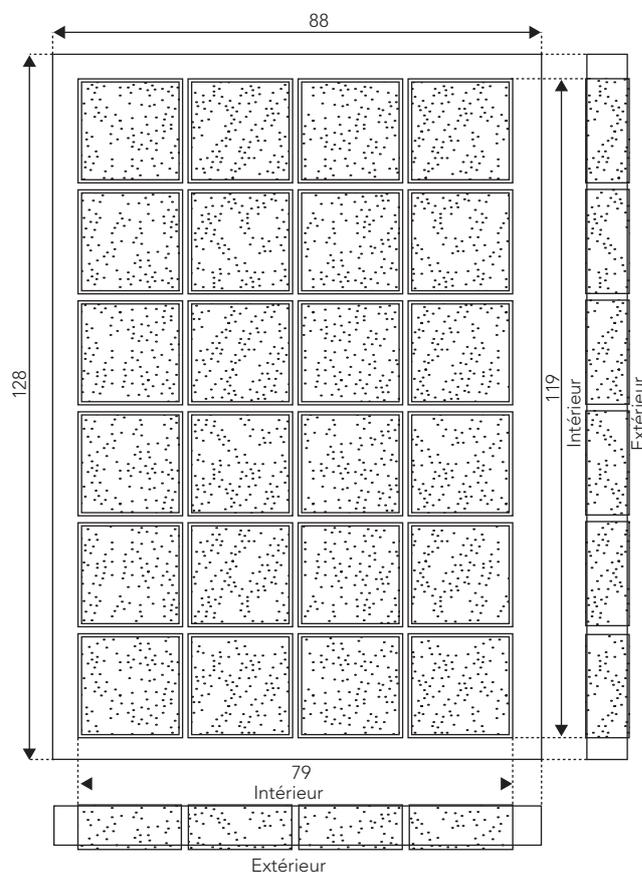


Figure 18 : Panneau en briques de verre

<p>Exemple 1 - Simple rangée de briques à deux cloisons $U_g = 2,7$:</p> $L_1 = 3 \times 1,19 + 5 \times 0,79 = 7,52 \text{ m}$ $L_2 = 2 \times (1,19 + 0,79) = 3,96 \text{ m}$ $A_w = 1,28 \times 0,88 = 1,1264 \text{ m}^2$ $\Psi_1 = 0,06 \text{ W/(m.K)}$ $\Psi_2 = 0,12 \text{ W/(m.K)}$ $\Delta U = (7,52 \times 0,06 + 3,96 \times 0,12) / 1,1264 = 0,82 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ $U_p = 2,7 + 0,82 = 3,5 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$	<p>Exemple 2 - Simple rangée de briques à deux cloisons avec une couche basse émissivité $U_g = 1,7$:</p> $L_1 = 3 \times 1,19 + 5 \times 0,79 = 7,52 \text{ m}$ $L_2 = 2 \times (1,19 + 0,79) = 3,96 \text{ m}$ $A_w = 1,28 \times 0,88 = 1,1264 \text{ m}^2$ $\Psi_1 = 0,13 \text{ W/(m.K)}$ $\Psi_2 = 0,21 \text{ W/(m.K)}$ $\Delta U = (7,52 \times 0,13 + 3,96 \times 0,21) / 1,1264 = 1,61 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ $U_p = 1,7 + 1,61 = 3,3 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$	<p>Exemple 3 - Deux rangées de briques à deux cloisons $U_g = 1,7$:</p> $L_1 = 3 \times 1,19 + 5 \times 0,79 = 7,52 \text{ m}$ $L_2 = 2 \times (1,19 + 0,79) = 3,96 \text{ m}$ $A_w = 1,28 \times 0,88 = 1,1264 \text{ m}^2$ $\Psi_1 = 0,06 \text{ W/(m.K)}$ $\Psi_2 = 0,12 \text{ W/(m.K)}$ $\Delta U = (7,52 \times 0,06 + 3,96 \times 0,12) / 1,1264 = 0,82 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ $U_p = 1,7 + 0,82 = 2,5 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$
--	---	---

2.2.9 Présentation des résultats

2.2.9.1 Expression des valeurs

La valeur de U_w de la paroi vitrée doit être exprimée avec deux chiffres significatifs.

2.2.9.2 Justifications

En plus des justifications concernant les différents éléments de la paroi vitrée, un dessin de la paroi entière (ou du module entier) doit indiquer les aires des éléments opaques et vitrés ainsi que les périmètres des intercalaires ou cadres éventuels.

La source de toute valeur utilisée sans calcul particulier, doit être clairement indiquée.

2.3 Calcul des éléments de la paroi vitrée

2.3.1 Éléments de remplissage

Le coefficient surfacique du vitrage U_g ou du panneau opaque U_p caractérise le transfert thermique en partie centrale sans les effets de bords. Il se définit comme étant le flux, en régime stationnaire, par unité de surface et pour un degré d'écart de température entre les deux ambiances situées de part et d'autre du vitrage. Il s'exprime en watt par mètre carré par kelvin, $W/(m^2.K)$.

2.3.1.1 Vitrage isolant

La méthode de calcul détaillée du coefficient U_g est décrite dans la norme NF EN 673.

Dans le cas d'un produit non marqué « CE », le coefficient de transmission surfacique utile U_g , exprimé en $W/(m^2.K)$, se calcule d'après la formule suivante :

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_k R_{s,k} + R_{si}} \quad (\text{Formule 16}) ;$$

où

R_{se} est la résistance superficielle extérieure, en $m^2.K/W$;

R_{si} est la résistance superficielle intérieure, en $m^2.K/W$;

d_j est l'épaisseur du verre ou de la couche du matériau j (à l'exception de l'air ou du gaz), en m ;

λ_j est la conductivité thermique du verre ou de la couche de matériau j , en $W/(m.K)$;

$R_{s,k}$ est la résistance thermique de la lame d'air ou du gaz, en $m^2.K/W$;

Elle se calcule d'après la formule suivante :

$$R_{s,k} = \frac{1}{h_r + h_g} \quad (\text{Formule 17});$$

où

h_r est la conductance thermique radiative de la lame de gaz, en $W/(m^2.K)$:

$$h_r = 4\sigma \left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)^{-1} T_m^3 \quad (\text{Formule 18});$$

où

σ est la constante de Stefan-Boltzmann, en $W/(m^2.K^4)$;

T_m est la température moyenne absolue de la lame de gaz, en K ;

ε_1 et ε_2 sont les émissivités corrigées à la température T_m ;

h_g est la conductance thermique du gaz, en $W/(m^2.K)$:

$$h_g = N_u \frac{\lambda}{s} \quad (\text{Formule 19});$$

où

s est l'épaisseur de la lame, en m ;

λ est la conductivité thermique du gaz, en $W/(m.K)$;

N_u est le nombre de Nusselt (si $N_u < 1$, prendre $N_u = 1$) :

$$N_u = A(G_r P_r)^n \quad (\text{Formule 20});$$

où

A est une constante qui dépend de l'inclinaison du vitrage ;

n est un exposant qui dépend de l'inclinaison du vitrage ;

G_r est le nombre de Grashof ;

P_r est le nombre de Prandtl :

$$G_r = \frac{9,81s^3 \Delta T \rho^2}{T_m \mu^2} \quad (\text{Formule 21}) \quad \text{et} \quad P_r = \frac{\mu c}{\lambda} \quad (\text{Formule 22});$$

où

ΔT est la différence de température entre les surfaces situées de part et d'autre de la lame de gaz, en K ;

ρ est la masse volumique du gaz, en kg/m^3 ;

μ est la viscosité dynamique du gaz, en $kg/(m.s)$;

c est la capacité thermique massique du gaz, en $J/(kg.K)$;

T_m est la température moyenne absolue du gaz, en K.

En cas où le vitrage comporte N lames de gaz avec $N > 2$, plusieurs itérations sont nécessaires pour le calcul des résistances $R_{s,k}$.

Ces itérations se font en fonction d'un seul paramètre (ΔT) et avec l'hypothèse d'une température moyenne constante $T_m = 283$ K. La valeur de départ de ΔT est $15/N$, N étant le nombre de lames.

À chaque itération de nouvelles valeurs de ΔT sont calculées et ainsi de suite jusqu'à la convergence de $\Sigma R_{s,k}$ au troisième chiffre significatif.

2.3.1.2 Panneau opaque

Le calcul de U_p s'effectue en utilisant la *formule 16* où $R_{s,k}$ désigne la résistance thermique de la lame d'air éventuelle faisant partie du panneau.

À défaut d'un calcul détaillé de $R_{s,k}$ conforme au fascicule 4 « Parois opaques » les valeurs par défaut, données au *tableau I* peuvent être utilisées pour des lames verticales si leur épaisseur n'excède pas 300 mm.

2.3.1.3 Données d'entrée

2.3.1.3.1 Résistances superficielles

Les résistances superficielles extérieure et intérieure dépendent de l'inclinaison de la paroi :

Tableau VI : Résistances superficielles

Inclinaison de la paroi	R_{si} m ² .K/W	R_{se} m ² .K/W
≥ 60 ° (paroi verticale et flux horizontal)	0,13	0,04
< 60 ° (paroi horizontale et flux ascendant)	0,10	0,04

2.3.1.3.2 Émissivité corrigée

L'émissivité corrigée ε est obtenue en multipliant l'émissivité normale par le rapport figurant dans le tableau ci-dessous :

Tableau VII : Émissivité corrigée

Émissivité normale ε_n	Rapport $\varepsilon / \varepsilon_n$
0,03	1,22
0,05	1,18
0,10	1,14
0,20	1,10
0,30	1,06
0,40	1,03
0,50	1,00
0,60	0,98
0,70	0,96
0,80	0,95
0,89	0,94

Note : des valeurs intermédiaires peuvent être obtenues avec une précision suffisante par interpolation linéaire.

L'émissivité normale utile ε_n à utiliser pour le calcul doit être prise égale à l'émissivité déclarée majorée de :

- 0,0 : si l'émissivité est certifiée par un organisme certificateur accrédité par le « COFRAC » ou par un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux couvrant l'activité de certification ;
- 0,02 : dans les autres cas.

L'émissivité normale déclarée doit être justifiée par un rapport d'essai émanant d'un laboratoire notifié sinon considérer le vitrage comme non traité.

2.3.1.3.3 Valeurs de la constante A et de l'exposant n

Tableau VIII : Valeurs de A et de n

	Vitrage vertical	Vitrage incliné à 45°	Vitrage horizontal
A	0,035	0,1	0,16
n	0,38	0,31	0,28
Note : pour des angles intermédiaires, une interpolation linéaire est possible pour retrouver les valeurs correspondantes de A et de n.			

2.3.1.3.4 Propriétés des gaz de remplissage

Il s'agit de quatre propriétés données en fonction de la température moyenne de la lame de gaz et qui servent au calcul de la conductance de gaz h_g .

Le tableau suivant récapitule les valeurs pour les quatre gaz : air, argon, xénon et krypton.

En cas où la lame de gaz contient deux ou plusieurs gaz à la fois, les propriétés résultantes du mélange sont obtenues par pondération proportionnelle aux volumes correspondants, F_1, F_2, \dots :

$$\text{Gaz1} : P_1, \text{Gaz2} : P_2, \dots \Rightarrow P = P_1 F_1 + P_2 F_2 + \dots ;$$

où

P représente la propriété concernée : masse volumique, viscosité dynamique, conductivité thermique ou chaleur massique.

Pour les gaz autres que l'air, le taux de remplissage doit être justifié à l'état initial et dans le temps, par une certification délivrée par un organisme accrédité « COFRAC » ou par un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux couvrant l'activité de certification, sinon un taux de remplissage d'air de 100 % doit être utilisé.

Tableau IX : Propriétés des gaz

Gaz	Température T_m °C	Masse volumique ρ Kg/m ³	Viscosité dynamique μ Kg/(m.s)	Conductivité thermique λ W/(m.K)	Chaleur massique à pression constante c J/(Kg.K)
Air	- 10	1,326	$1,661 \times 10^{-5}$	$2,336 \times 10^{-2}$	$1,008 \times 10^3$
	0	1,277	$1,711 \times 10^{-5}$	$2,416 \times 10^{-2}$	
	10	1,232	$1,761 \times 10^{-5}$	$2,496 \times 10^{-2}$	
	20	1,189	$1,811 \times 10^{-5}$	$2,576 \times 10^{-2}$	
Argon	- 10	1,829	$2,038 \times 10^{-5}$	$1,584 \times 10^{-2}$	$0,519 \times 10^3$
	0	1,762	$2,101 \times 10^{-5}$	$1,634 \times 10^{-2}$	
	10	1,699	$2,164 \times 10^{-5}$	$1,684 \times 10^{-2}$	
	20	1,640	$2,228 \times 10^{-5}$	$1,734 \times 10^{-2}$	
Xénon	- 10	6,121	$2,078 \times 10^{-5}$	$0,494 \times 10^{-2}$	$0,161 \times 10^3$
	0	5,897	$2,152 \times 10^{-5}$	$0,512 \times 10^{-2}$	
	10	5,689	$2,226 \times 10^{-5}$	$0,529 \times 10^{-2}$	
	20	5,495	$2,299 \times 10^{-5}$	$0,546 \times 10^{-2}$	
Krypton	- 10	3,832	$2,260 \times 10^{-5}$	$0,842 \times 10^{-2}$	$0,245 \times 10^3$
	0	3,690	$2,330 \times 10^{-5}$	$0,870 \times 10^{-2}$	
	10	3,560	$2,400 \times 10^{-5}$	$0,900 \times 10^{-2}$	
	20	3,430	$2,470 \times 10^{-5}$	$0,926 \times 10^{-2}$	

2.3.1.3.5 Valeurs par défaut

Les valeurs suivantes doivent être utilisées quand il s'agit d'un calcul effectué dans le but de comparer les produits entre eux ou en absence de toute autre source de donnée.

Tableau X : Valeurs par défaut

Paramètres		Valeur	Unité
R_{se}	Résistance superficielle extérieure pour un verre sans couche particulière	0,04	m ² .K/W
R_{si}	Résistance superficielle intérieure pour un verre sans couche particulière	0,13	m ² .K/W
λ_j	Conductivité thermique du verre	1,0	W/(m.K)
ε_n	Émissivité normale d'une surface de verre, non traitée	0,89	
T_m	Température moyenne de la lame de gaz	283	K
ΔT	Différence de température entre les surfaces situées de part et d'autre de la lame de gaz	15	K
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	$5,67 \times 10^{-8}$	W/(m ² .K ⁴)
A	Constante	0,035	
n	Exposant	0,38	

2.3.1.4 Présentation des résultats

2.3.1.4.1 Expression des valeurs

- La valeur de U_g vitrage doit être arrondie à un chiffre après la virgule.
- L'émissivité normale doit être arrondie à deux chiffres après la virgule.
- Les autres valeurs intermédiaires des paramètres servant au calcul de U_g ne doivent pas être arrondies.

2.3.1.4.2 Justifications

Tout calcul doit être accompagné des justifications et résultats suivants :

- une description de la composition du vitrage en partant de la face extérieure jusqu'à la face intérieure (épaisseurs nominales des verres, épaisseurs nominales de toute autre couche de matériau, épaisseurs nominales des lames de gaz, nature et pourcentage de(s) gaz, émissivités normales et positionnement de toutes les couches de traitement des verres) ;
- l'inclinaison du vitrage par rapport à l'horizontal et toute condition aux limites qui diffère des valeurs par défaut ;
- la résistance thermique totale de(s) lame(s) d'air ou de gaz ;
- le coefficient U_g .

2.3.2 La menuiserie

Le coefficient surfacique moyen de la menuiserie U_f se définit comme étant le flux en régime stationnaire, par unité de surface et pour un degré d'écart de température entre les deux ambiances situées de part et d'autre de la menuiserie. Il s'exprime en watt par mètre carré par degré Kelvin, $W/(m^2.K)$.

Le coefficient surfacique de la menuiserie peut être déterminé soit par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10211 (parties 1 et 2) et NF EN ISO 10077-2, soit par mesure directe conformément à la norme NF EN ISO 12412-2.

Les programmes de calcul doivent être vérifiés conformément à l'article 4.2 de la norme NF EN ISO 10077-2.

En absence des valeurs calculées ou mesurées selon ces normes, les valeurs de U_f peuvent être obtenues par des méthodes simplifiées décrites dans l'annexe informative D de la norme NF EN ISO 10077-1.

2.3.2.1 Méthode de calcul numérique des profilés

On se contente ici de décrire brièvement les étapes principales du calcul numérique des profilés.

2.3.2.1.1 La modélisation de la géométrie

Le modèle géométrique doit comprendre, en plus du détail des profilés, un panneau opaque homogène de conductivité thermique égale à $0,035 W/(m.K)$. Ce panneau remplace l'élément de remplissage et pénètre dans la feuillure de la menuiserie de façon à ménager un espace avec le fond de feuillure, supérieur ou égal à 5 mm.

Le panneau doit avoir la même épaisseur que l'élément de remplissage, et une longueur minimale visible b_p de 190 mm (cf. figure 19).

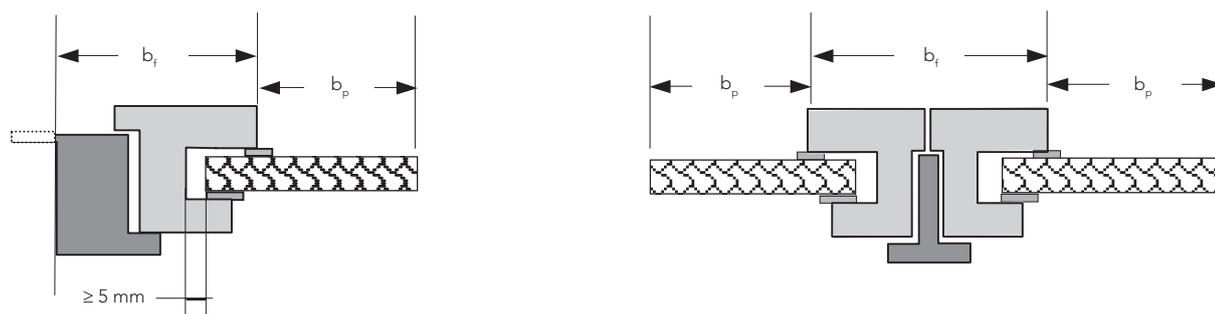


Figure 19 : Intégration du panneau opaque homogène

En ce qui concerne la menuiserie, le modèle doit comprendre l'ensemble des profilés ouvrants et dormants, à l'exception des recouvrements pour les dormants.

2.3.2.1.2 Le maillage

Le modèle géométrique doit être discrétisé en petits éléments ou mailles dont la densité doit être d'autant plus forte que le gradient thermique est fort et que la perturbation des lignes de flux est maximale.

La densité de maillage ne doit en aucun cas varier brusquement pour ne pas créer des mailles de dimensions disproportionnées.

De plus amples informations, concernant les règles d'application d'un maillage correct, sont données dans la norme NF EN ISO 10211-1.

2.3.2.1.3 Les caractéristiques thermiques

2.3.2.1.3.1 Matériaux

La conductivité thermique des matériaux doit être déterminée conformément au fascicule 2 « Matériaux » des règles Th-U.

Pour les matériaux (autres que matériaux isolants manufacturés) qui ne figurent pas dans les règles Th-U, la conductivité thermique correspondante doit être justifiée par un rapport d'essai émanant d'un laboratoire indépendant accrédité par le COFRAC ou par un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux couvrant l'activité de laboratoire.

Les valeurs suivantes sont extraites du fascicule 2 « Matériaux » et concernent des matériaux courants utilisés pour la fabrication des éléments de parois vitrées :

Tableau XI : Propriétés thermiques des matériaux

Groupe de matériau	Matériau	Masse volumique kg/m ³	Conductivité thermique W/(m.K)
Menuiserie	Alliage d'aluminium	2 800	160
	Acier	7 800	50
	Acier inox	7 900	17
	PVC (polyvinylchloride) rigide	1 390	0,17
	Bois :		
	Feuillus très lourds	> 870	0,29
	Feuillus lourds	750 < ρ ≤ 870	0,23
	Feuillus mi-lourds	565 < ρ ≤ 750	0,18
	Feuillus légers	435 < ρ ≤ 565	0,15
	Feuillus très légers hors balsa	200 < ρ ≤ 435	0,13
	Résineux très lourds	> 610	0,23
	Résineux lourds	520 < ρ ≤ 610	0,18
	Résineux mi-lourds	435 < ρ ≤ 520	0,15
	Résineux légers	ρ ≤ 435	0,13
	Épicéa, Sapin blanc, Western Red Cedar		0,11
	Acajou d'Afrique, Cèdre, Douglas, Framiré, Mélèze, Meranti light red, Peuplier blanc, Pin maritime, Pin noir d'Autriche et Laricio, Pin sylvestre, Western Hemlock		0,13
Bossé clair, Châtaignier, Jequitiba, Limba / Fraké, Tauari, Tiama, Tola		0,15	
Iroko, Louro vermelho (Grignon franc), Makoré / Douka, Mengkulang (Palapi), Mengkulang (Palapi), Meranti dark red, Niangon, Sapelli, Sipo, Teck		0,16	
Bintangor, Bossé foncé, Chêne (rouvre et/ou pédonculé), Curupixa, Doussié, Eucalyptus globulus, Eucalyptus grandis, Frêne, Hêtre, Kosipo, Kotibé, Merbau, Moabi, Movingui, Robinier (faux Acacia)		0,18	
Verre	Verre silico-sodo-calcique	2 500	1,00
Coupure thermique	Polyamide 6.6 avec 25 % de fibre de verre	1 450	0,30
	Polyéthylène forte densité	980	0,50
	Polyéthylène faible densité	920	0,33
	Résine de polyuréthane	1 200	0,25
	PVC rigide	1 390	0,17

Tableau XI (suite) : Propriétés thermiques des matériaux

Groupe de matériau	Matériau	Masse volumique kg/m ³	Conductivité thermique W/(m.K)
Produits d'étanchéité	Néoprène	1 240	0,23
	EPDM	1 150	0,25
	Silicone pure	1 200	0,35
	PVC souple	1 200	0,14
	Brosse en polyester	–	0,14
	Mousse élastomère flexible	60-80	0,05
Produits de scellement du vitrage isolant	Polyuréthane rigide	1 200	0,25
	Butyle solide	1 200	0,24
	Silicone pure	1 200	0,35
	Résine de polyester	1 400	0,19
	Silicagel (dessicatif)	720	0,13
	Tamis moléculaire	650-750	0,10
	Mousse de silicone de faible densité	750	0,12
	Mousse de silicone de forte densité	820	0,17
	Polysulfure	1 700	0,40

2.3.2.1.3.2 Cavités d'air

Une cavité d'air est généralement modélisée par un matériau équivalent dont la conductivité thermique λ_{eq} est calculée en fonction des échanges convectifs et radiatifs ayant lieu dans la cavité.

2.3.2.1.3.2.1 Cavités non ventilées de forme rectangulaire

La conductivité thermique équivalente de la cavité doit être calculée d'après la formule suivante :

$$\lambda_{eq} = d(h_a + h_r) \quad (\text{Formule 23}) ;$$

où

d est la dimension de la cavité dans la direction du flux, en m ;

h_a est la part convective du transfert thermique dans la cavité, il se calcule d'après le *tableau XII* :

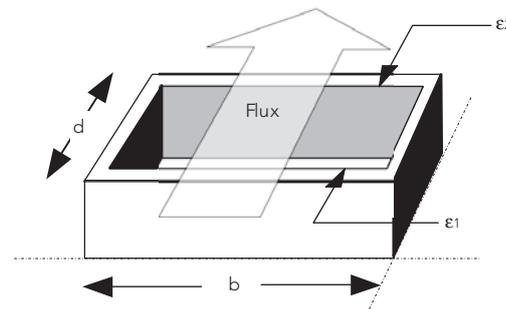


Figure 20 : Cavité d'air

Tableau XII : Calcul de h_a

b mm	h_a W/(m ² .K)	C_1 W/(m.K)	C_2 W/(m ² .K ^{4/3})	C_3 W/(m ² .K)
< 5	C_1/d	0,025	–	–
≥ 5	Max ($C_1/d ; C_2 \cdot \Delta T^{1/3}$)	0,025	0,73	–
$\Delta T = 10$ K	Max ($C_1/d ; C_3$)	0,025	–	1,57

h_r est la part radiative du transfert thermique dans la cavité :

$$h_r = 4\sigma \cdot T_m^3 \cdot \left[\frac{1}{E} + \frac{1}{F} - 1 \right]^{-1} \quad (\text{Formule 24});$$

où

σ est la constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

E est l'émittance entre surfaces opposées : $E = \left[\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right]^{-1}$ (Formule 25) ;

F est le facteur de forme d'une section rectangulaire : $F = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b} \right)^2} - \frac{d}{b} \right)$ (Formule 26) ;

T_m est la température moyenne de la cavité, en K ;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ sont les émissivités normales des deux surfaces parallèles opposées. Elles sont déterminées comme suit :

Tableau XIII : Émissivités normales des deux surfaces parallèles opposées entre barrettes

Description	Emissivité normale
Surface aluminium non traitée	0,1
Surface aluminium légèrement oxydée	0,3
Surface métallique	0,3
Surface galvanisée, peinte ou thermolaquée	0,9

Dans les autres cas et en absence de valeurs justifiées de T_m , ε_1 et ε_2 , on prend les valeurs suivantes par défaut :

$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$ et $T_m = 283 \text{ K}$, ce qui conduit à :

$$h_r = C_4 \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b} \right)^2} - \frac{d}{b} \right), \text{ avec } C_4 = 2,11 \text{ W } (\text{m}^2 \cdot \text{K}) \text{ (Formule 27).}$$

2.3.2.1.3.2 Cavités non ventilées de forme irrégulière

Les cavités de forme irrégulière doivent être traitées comme des cavités rectangulaires de dimensions $b \times d$, déterminées d'après la figure 21 ci-après.

Les cavités dont la largeur est inférieure à 2 mm, ou communiquant entre elles via des interstices inférieures à 2 mm, doivent être traitées séparément.

Les cavités communiquant entre elles via des interstices supérieures à 2 mm doivent être traitées séparément si l'orientation des lignes de flux dans chaque cavité est propre à la configuration géométrique de la cavité.

Pour des lignes de flux obliques par rapport à la direction d' , la conductivité thermique équivalente de la cavité est calculée comme étant la moyenne entre les deux conductivités thermiques calculées respectivement pour des lignes de flux parallèles et perpendiculaires à d' .

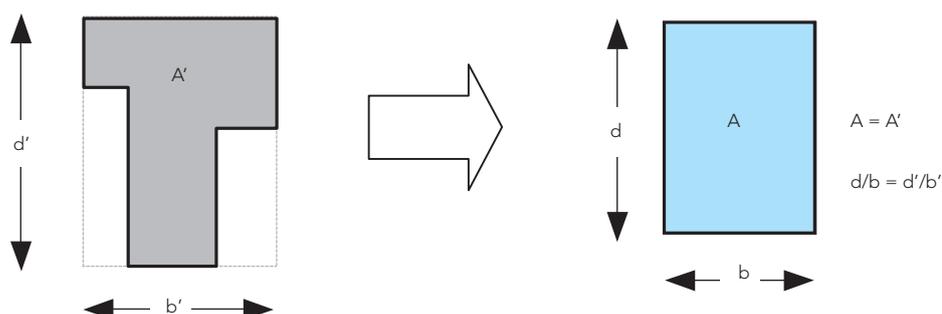


Figure 21 : Cavité équivalente

où

A est l'aire de la cavité rectangulaire équivalente ;

d, b sont les dimensions de la cavité rectangulaire équivalente ;

d', b' sont les dimensions du plus petit rectangle enveloppant la cavité irrégulière.

2.3.2.1.3.2.3 Cavités partiellement ventilées

La conductivité thermique équivalente d'une cavité partiellement ventilée doit être prise égale à deux fois la conductivité équivalente d'une cavité non ventilée de mêmes dimensions.

2.3.2.1.3.2.4 Cavités fortement ventilées

Les parois intérieures d'une cavité fortement ventilée sont considérées comme exposées à l'environnement et donc une résistance superficielle, intérieure ou extérieure selon le cas, doit être appliquée.

Si l'aire développée interne de la cavité dépasse dix fois la largeur de l'unique interstice à travers lequel elle communique avec l'environnement, une résistance superficielle augmentée doit être utilisée (cf. tableau XIV).

2.3.2.1.4 Les conditions aux limites

2.3.2.1.4.1 Plans adiabatiques

Le modèle géométrique doit être limité par deux plans adiabatiques perpendiculaires à l'élément de remplissage, et situés aux deux extrémités du modèle. Pour toutes les menuiseries, hormis les galandages côté refoulement, la cavité en dos de dormant est remplacée par une condition adiabatique le long de son interface avec la menuiserie, afin de tenir compte de la présence en général d'un isolant thermique au droit du dormant.

2.3.2.1.4.2 Températures d'ambiances et résistances superficielles

Toute surface de menuiserie, exposée directement à l'ambiance intérieure ou extérieure échange de la chaleur par rayonnement et par convection avec son environnement.

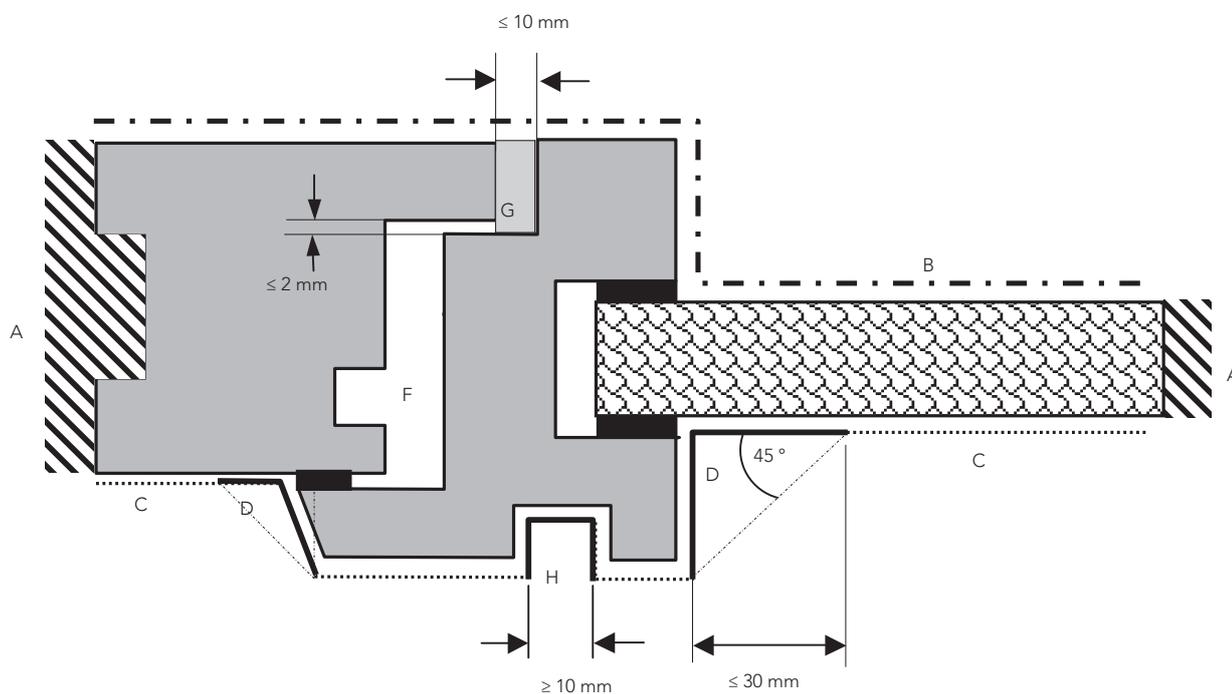
Une résistance superficielle et une température d'ambiance doivent être appliquées de chaque côté du modèle :

- côté intérieur :
 - R_{si} peut avoir une valeur normale ou augmentée selon que la surface correspondante soit exposée à l'environnement intérieur ou abritée par d'autres surfaces du modèle ;
 - T_i est la température d'ambiance de référence ;
- côté extérieur :
 - R_{se} est constante sur toutes les surfaces du modèle en contact avec l'ambiance extérieure ;
 - T_e est la température d'ambiance de référence.

Tableau XIV : Conditions aux limites

Températures d'ambiances et résistances superficielles	Côté extérieur	Côté intérieur
Résistance superficielle normale , en $m^2.K/W$	0,04	0,13
Résistance superficielle augmentée , en $m^2.K/W$	0,04	0,2
Température d'ambiance, en $^{\circ}C$	0	20

La figure 22 ci-après résume les différentes conditions aux limites et traitements des cavités, applicables à une menuiserie type.



Légende :

Conditions aux limites (cf. tableau XIV)

- A Conditions adiabatiques
- B Résistance superficielle extérieure
- C Résistance superficielle intérieure, normale
- D Résistance superficielle intérieure, augmentée

Cavités d'air

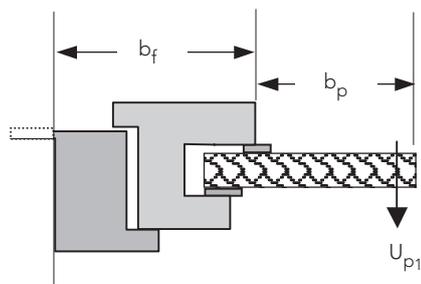
- F Cavité non ventilée (cf. paragraphes 2.3.2.1.2.1.1 et 2.3.2.1.2.1.2)
- G Cavité partiellement ventilée (cf. paragraphe 2.3.2.1.2.1.3)
- H Cavité fortement ventilée (cf. paragraphe 2.3.2.1.2.1.4)

Figure 22 : Conditions aux limites et traitement des cavités, sur une menuiserie type

2.3.2.1.5 Calcul du coefficient U_f

Le coefficient de transmission surfacique U_f de la menuiserie doit être calculé d'après les formules données ci-après :

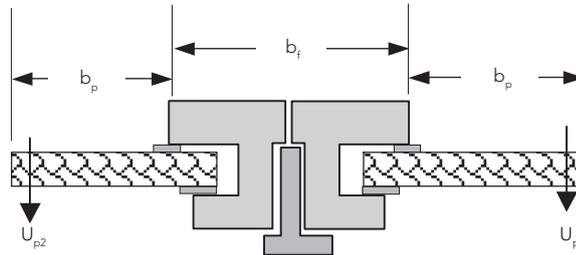
- Pour les profilés latéraux :



$$U_f = \frac{\Phi_T - U_{p1} b_p}{b_f} \quad (\text{Formule 28a});$$

Figure 23a : Profilés latéraux

- Pour les profilés centraux :



$$U_f = \frac{\frac{\varphi_T}{\Delta T} - U_{p1} b_p - U_{p2} b_p}{b_f} \quad (\text{Formule 28b});$$

Figure 23b : Profilés centraux

où

U_f est le coefficient surfacique de la menuiserie, en $W/(m^2.K)$;

φ_T est le flux total à travers la section, obtenu par calcul numérique, en W/m ;

b_p est la longueur visible du panneau p_1 ou p_2 , en m ;

b_f est la largeur projetée de la menuiserie, en m ;

ΔT est la différence de température, en K ;

U_{p1} , U_{p2} sont les coefficients surfaciques en partie centrale des panneaux p_1 ou p_2 respectivement, en $W/(m^2.K)$. Ils sont calculés d'après la formule suivante :

$$U_p = \frac{1}{R_{se} + \frac{e_p}{\lambda_p} + R_{si}} \quad (\text{Formule 29});$$

où

R_{se} est la résistance superficielle extérieure, en $W/(m^2.K)$;

R_{si} est la résistance superficielle intérieure, en $W/(m^2.K)$;

e_p est l'épaisseur du panneau, en m ;

λ_p est la conductivité thermique du panneau, en $W/(m.K)$.

2.3.2.1.6 Présentation des résultats

Les résultats doivent être impérativement accompagnés des informations suivantes :

- le détail côté ou à l'échelle des profilés et du panneau de remplissage ;
- le maillage pratiqué sur l'ensemble du modèle ;
- la conductivité thermique des matériaux utilisés ;
- l'émissivité normale des surfaces internes des cavités, si des valeurs inférieures à 0,9 sont utilisées ;
- les conditions aux limites : plans adiabatiques, températures d'ambiances et résistances superficielles correspondantes ;
- le flux de chaleur total, en W/m ;
- le coefficient surfacique des profilés de la menuiserie exprimé avec deux chiffres significatifs, en $W/(m^2.K)$.

2.3.2.2 Méthode de calcul simplifiée des profilés

■ Profilés métalliques

Domaine d'utilisation : fenêtres à frappe verticales en métal (les fenêtres coulissantes, à ouvrants cachés et de toit sont exclus de cette méthode).

Afin de déterminer le coefficient U_f moyen d'une fenêtre, cette méthode est à appliquer à tous les profilés distincts constituant la fenêtre.

Si les valeurs de U_{fi} ne peuvent pas être obtenues par des méthodes de calcul numérique (éléments finis, différences finies) ou par des mesurages directs (essais boîte chaude), on peut utiliser la méthode de calcul simplifiée de la norme NF EN ISO 10077-1, décrite ci-dessous :

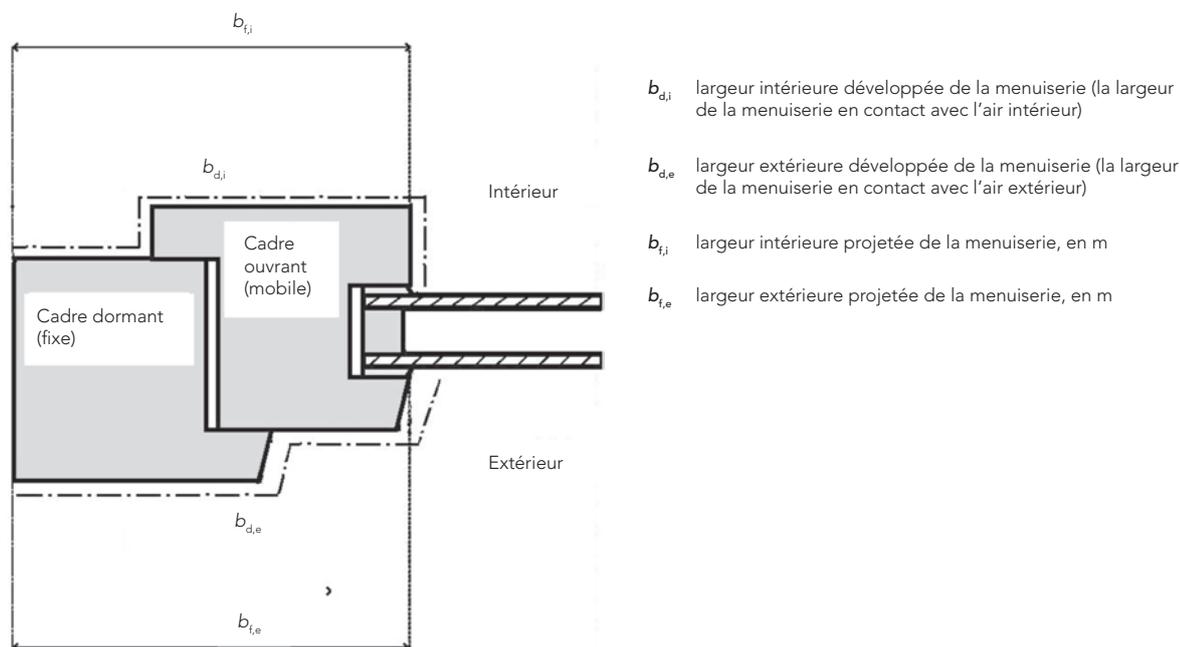


Figure 24 : Illustration des différentes largeurs d'un profilé

Le coefficient de transmission thermique de la menuiserie U_f , en $W/(m^2.K)$, est donné par :

$$U_f = \frac{1}{\frac{R_{si} b_{f,i}}{b_{d,i}} + R_f + \frac{R_{se} b_{f,e}}{b_{d,e}}} \quad (\text{Formule 30});$$

où

R_{si} est la résistance superficielle intérieure, égale à $0,13 \text{ m}^2.K/W$;

R_{se} est la résistance superficielle extérieure, égale à $0,04 \text{ m}^2.K/W$;

R_f est la résistance thermique de la menuiserie, exprimée en $\text{m}^2.K/W$, est donnée par :

$$R_f = \frac{1}{U_{f0}} - 0,17 \quad (\text{Formule 31});$$

où

U_{f0} est le coefficient de transmission thermique de la menuiserie, exprimé en $W/(m^2.K)$, il est obtenu de la façon suivante :

– pour les menuiseries métalliques sans coupure thermique : prendre $U_{f0} = 5,9 \text{ W}/(m^2.K)$;

- pour les menuiseries métalliques avec coupure thermique, correspondant aux sections illustrées sur la figure 25, sous réserve de restrictions sur la conductivité thermique et la largeur des barrettes de la coupure thermique, prendre U_{f0} sur la courbe de la figure 26.

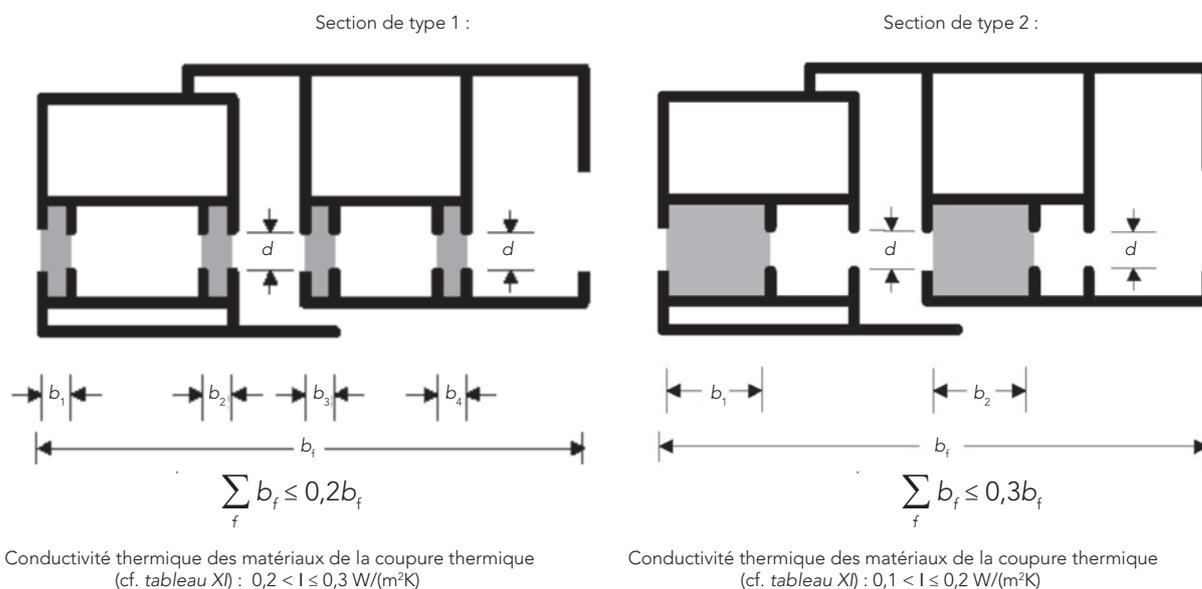


Figure 25 : Restrictions sur la conductivité thermique et la largeur des barrettes de la coupure thermique

où

d est la plus petite distance entre les sections métalliques situées de part et d'autre de la coupure thermique, en mm ;

b_j est la largeur de la coupure thermique j , en mm ;

b_f est la largeur de la menuiserie, en mm, $b_f = \max(b_{f,i}, b_{f,e})$.

Le coefficient U_{f0} de transmission thermique de la menuiserie est obtenu par la courbe suivante :

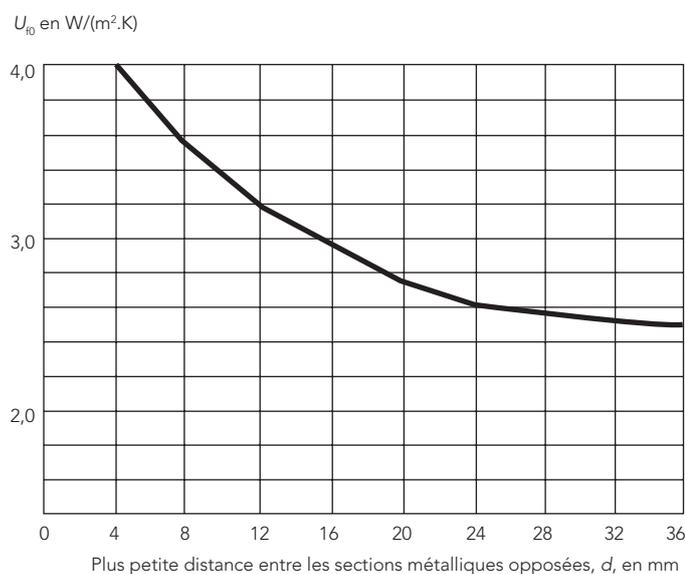


Figure 26 : Valeurs de U_{f0} pour les menuiseries métalliques avec coupure thermique

2.3.3 La jonction : menuiserie – élément de remplissage

Le coefficient surfacique de l'élément de remplissage est valable uniquement en partie centrale et ne prend pas en compte les effets de bords dus à la présence d'un intercalaire ou d'un espaceur.

Le coefficient surfacique de la menuiserie est valable en absence de l'élément de remplissage.

Le coefficient linéique ψ_g ou ψ_p à la jonction entre la menuiserie et l'élément de remplissage, caractérise le transfert thermique supplémentaire causé par cette jonction. Il se définit comme étant le flux en régime permanent, par unité de longueur et pour un degré d'écart de température entre les deux ambiances situées de part et d'autre de la paroi vitrée.

Le calcul de ψ_g ou ψ_p doit être effectué en utilisant le même modèle déjà construit pour le calcul de la menuiserie, dans lequel le panneau isolant homogène est remplacé cette fois-ci, par l'élément de remplissage réel du projet. Si les lignes de flux dans la cavité formée à la jonction entre élément de remplissage et menuiserie sont quasi perpendiculaires au bord du vitrage et au fond de feuillure, la largeur de la cavité rectangulaire équivalente b est prise égale à la développée de la cavité réelle.

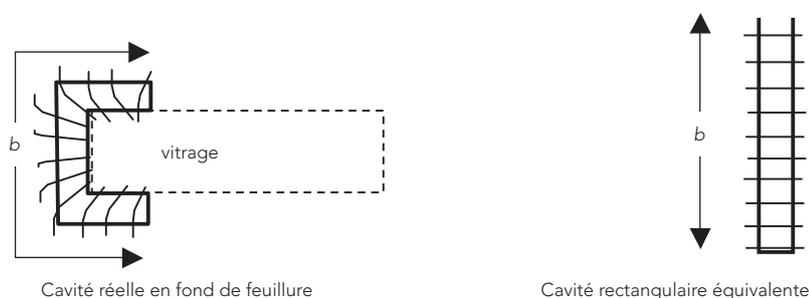


Figure 27 : Modélisation de la cavité à la jonction entre vitrage et profilé

Les formules de calcul de ψ sont les suivantes :

- Lorsque l'élément de remplissage est un vitrage :

$$\psi_g = \frac{\phi_T}{\Delta T} - U_f b_f - U_g b_g \quad (\text{Formule 32a});$$

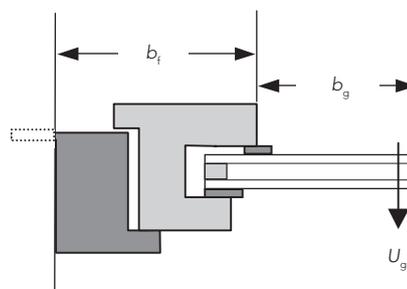


Figure 28a : Vitrage

- Lorsque l'élément de remplissage est un panneau opaque :

$$\psi_p = \frac{\phi_T}{\Delta T} - U_f b_f - U_p b_p \quad (\text{Formule 32b});$$

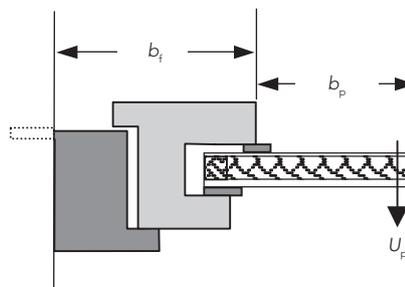


Figure 28b : Panneau opaque

où

U_f est le coefficient surfacique de la menuiserie, en $W/(m^2.K)$;

ϕ_T est le flux total à travers la section, obtenu par calcul numérique, en W/m ;

b_g, b_p sont respectivement les longueurs visibles du vitrage ou du panneau, en m ;

b_f est la largeur projetée de la menuiserie, en m ;

ΔT est la différence de température, en K ;

U_g, U_p sont respectivement les coefficients surfaciques en partie centrale, du vitrage ou du panneau, en $W/(m^2.K)$.

U_p peut être calculé selon le *paragraphe 2.3.1*.

À défaut de valeurs calculées ou déduites par mesure, des valeurs par défaut sont données au *paragraphe 3.2*.

2.3.4 Fermetures

Les parois vitrées équipées de fermetures voient leur performance thermique s'améliorer grâce aux résistances thermiques additionnelles apportées par la fermeture et par la lame d'air située entre la fermeture et la paroi vitrée.

La résistance thermique de la lame d'air dépend de la perméabilité à l'air de la fermeture.

La méthode de calcul de la résistance additionnelle totale est donnée au *paragraphe 2.2.3*.

On se limite ici à la description de la méthode de calcul de la résistance thermique propre de la fermeture.

La résistance thermique propre de la fermeture peut être obtenue soit par mesure soit par calcul conformément aux normes NF EN ISO 10077-2 et NF EN ISO 10211 parties 1 et 2. La méthode de calcul correspondante est brièvement introduite aux *paragraphes 2.2.1* et *2.3.2*.

Dans le cas d'une fermeture en PVC non remplie de mousse, la formule ci-après peut être utilisée pour le calcul de la résistance thermique du tablier :

$$R_s = 0,0157d - 0,00034d^2 \quad (\text{Formule 33}) ;$$

où

R_s est la résistance thermique propre du tablier, en $m^2.K/W$;

d est l'épaisseur moyenne réelle du profilé, en mm.

Cette relation est valable pour $d \leq 25$ mm.

L'épaisseur moyenne réelle du profilé est définie comme la moyenne des épaisseurs du profil mesurées au centre de chaque alvéole, perpendiculairement à la ligne moyenne du profil :

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4}{4} \quad (\text{Formule 34}) ;$$

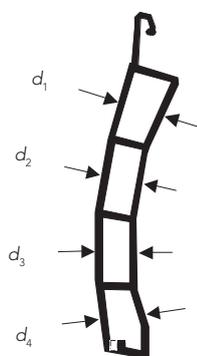


Figure 29 : Tablier PVC non rempli de mousse

2.3.5 Coffres de volet roulant

2.3.5.1 Coffre sous dalle ou sous linteau, en contact direct avec les ambiances intérieure et extérieure du bâtiment

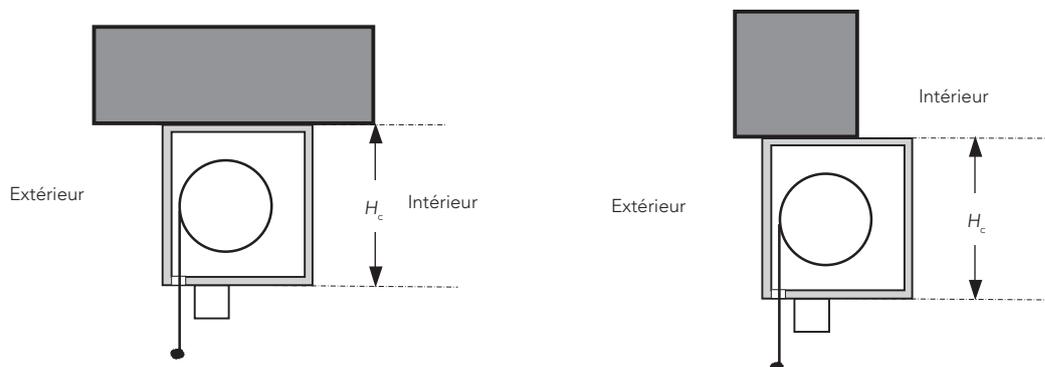


Figure 30 : Coffres sous dalle ou sous linteau

Les déperditions thermiques à travers le coffre de volet roulant s'effectuent à travers toutes les surfaces du coffre, en contact direct avec l'ambiance intérieure du local.

Ces surfaces sont généralement :

- la face verticale intérieure du coffre ;
- la face inférieure du coffre et éventuellement une partie de sa face supérieure ;
- les deux embouts latéraux du coffre.

Le coefficient surfacique moyen du coffre U_c exprime l'ensemble de ces déperditions par unité de surface projetée du coffre et par degré d'écart de température entre les ambiances intérieure et extérieure.

Le coefficient U_c se calcule d'après la formule suivante :

$$U_c = U_{c1} + U_e \frac{2A_e}{A_c} \quad (\text{Formule 35});$$

où

U_c est le coefficient surfacique moyen du coffre, en $W/(m^2.K)$;

U_{c1} est le coefficient surfacique moyen en partie courante du coffre en $W/(m^2.K)$;

U_e est le coefficient surfacique des embouts du coffre, en $W/(m^2.K)$;

A_e est l'aire de l'embout du coffre en contact direct avec l'ambiance intérieure, en m^2 ;

A_c est l'aire projetée du coffre, en $m^2 (= H_c \times L_c)$;

H_c et L_c sont respectivement la longueur et la hauteur projetée du coffre.

U_{c1} doit être déterminé par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10077-2 et NF EN ISO 10211 parties 1 et 2 :

$$U_{c1} = \frac{\phi}{H_c \times \Delta T} \quad (\text{Formule 36});$$

où

ϕ est le flux thermique en partie courante par mètre linéaire du coffre, en W/m ;

H_c est la hauteur projetée du coffre, en m ;

ΔT est la différence de température, en K .

U_e se calcule d'après la formule suivante :

$$U_e = \frac{1}{0,26 + \sum \frac{d_j}{\lambda_j}} \quad (\text{Formule 37}) ;$$

où

d_j et λ_j sont respectivement l'épaisseur en m, et la conductivité thermique en W/(m.K), de toute couche du matériau j appartenant à l'embout.

L'embout est généralement supposé sans lame d'air isolante :

- si la séparation est métallique, celle-ci comporte des ajours et des pattes qui court-circuitent l'isolation ;
- si la séparation est en matière synthétique, les mécanismes de manœuvre, souvent en matériaux conducteurs, situés dans la lame d'air dissipent son effet isolant.

Les conditions aux limites sont données ci-après :

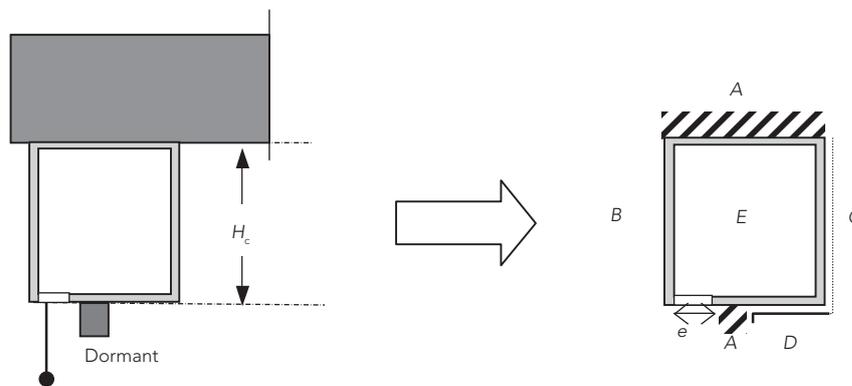


Figure 31 : Condition aux limites du coffre de volet roulant

où

A est la condition adiabatique aux contacts entre le coffre et :

- le dormant de la menuiserie (si la largeur est non connue prendre 60 mm) ;
- la paroi verticale ou horizontale ;

B est la résistance superficielle extérieure, $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$;

C est la résistance superficielle intérieure, normale, $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$;

D est la résistance superficielle intérieure, augmentée, $R_{si} = 0,20 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$;

E est la cavité partiellement ventilée si $e \leq 35 \text{ mm}$;

ambiance extérieure et résistance superficielle intérieure (R_{si}, T_e), si $e > 35 \text{ mm}$;
cavité non ventilée si $e = 0$;

e est l'ouverture entre la face avant et la sous face sans prendre en compte le tablier sauf si le coffre a un dispositif d'étanchéité complet.

Pour le traitement des cavités se référer au *paragraphe 2.3.2.*

2.3.5.2 Coffre derrière linteau associé ou pas à une isolation complémentaire par l'intérieur ou par l'extérieur à la paroi

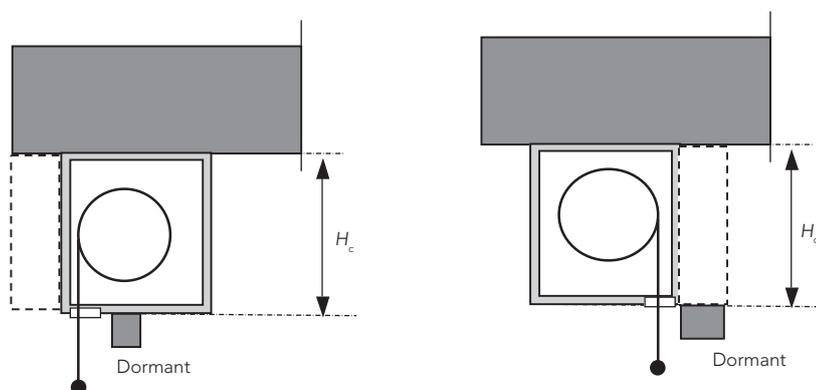


Figure 32 : Coffre derrière linteau associé à une isolation thermique intérieure ou extérieure

À l'endroit du coffre, on calcule un coefficient U_p de la paroi opaque intégrant le coffre.

La méthode de calcul est identique à celle de U_c :

$$U_p = U_{p1} + U_e \frac{2A_e}{A_c} ;$$

$$U_{p1} = \frac{\phi}{H_c \times \Delta T} ;$$

où

ϕ est le flux thermique à travers la surface de la paroi intégrant le coffre, exprimé par mètre linéaire de paroi, en W/m ;

U_e se calcule de la même façon qu'au paragraphe 2.3.5.1.

2.3.5.3 Expression des résultats

Le résultat final de U du coffre ou de la paroi intégrant le coffre doit être arrondi à deux chiffres significatifs.

Les résultats intermédiaires (U_e , U_{p1} , U_{c1}) doivent être arrondis à trois chiffres significatifs.

3. Valeurs par défaut

Ce chapitre fournit des valeurs par défaut des coefficients de transmission thermique des parois vitrées et de leurs composants (vitrage, menuiserie, intercalaire, fenêtre, etc.).

Ces valeurs sont sécuritaires et ont été tabulées en fonction des paramètres les plus influents comme, par exemple, l'épaisseur de la lame d'air, et l'émissivité pour le calcul du coefficient de transmission surfacique du vitrage. Cependant elles ont été déterminées en utilisant une méthode simplifiée basée sur des paramètres conventionnels comme, par exemple, les dimensions et le clair de jour pour le calcul du coefficient de transmission surfacique des fenêtres.

Les données d'entrée aux valeurs tabulées doivent être justifiées conformément aux méthodes de calcul données dans les règles Th-Bât.

Par conséquent, ces valeurs ne peuvent être utilisées comme données d'entrée au calcul réglementaire, qu'en phase d'avant-projet et qu'en absence de valeurs précises calculées conformément au chapitre 2 de ce fascicule.

Le fascicule intitulé « Valeurs tabulées des parois vitrées » fournit des valeurs cohérentes (U , S , TL) des parois vitrées courantes, équipées ou pas de protections solaires mobiles.

3.1 Coefficient U_g des vitrages en partie courante, en $W/(m^2.K)$

Dans le cas d'un produit non marqué « CE », le coefficient de transmission surfacique utile U_g est déterminé d'après la méthode de calcul donnée au *paragraphe 2.3.1* ou d'après le présent chapitre.

Les coefficients surfaciques des vitrages qui figurent dans les *tableaux XVI à XXXV*, correspondent à des verres de 4 mm d'épaisseur et sont calculés conformément à la méthode décrite au *paragraphe 2.3.1* du présent document.

Les valeurs intermédiaires de U_g , en fonction de l'émissivité, peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

Pour les vitrages isolants à lame de gaz autre que l'air, les valeurs de U_g , données dans ce chapitre, correspondent à un taux de remplissage de 85 %, donné à titre indicatif.

Le taux de remplissage doit être justifié à l'état initial et dans le temps, par une certification délivrée par un organisme accrédité « COFRAC » ou par un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux couvrant l'activité de certification, sinon un taux de remplissage d'air de 100 % doit être utilisé.

L'émissivité normale utile ϵ_n qui figure dans les *tableaux XVI à XXXV*, correspond à l'émissivité déclarée majorée de :

- 0,0 : si l'émissivité est certifiée par un organisme certificateur accrédité par le « COFRAC » ou par un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux couvrant l'activité de certification ;
- 0,02 : dans les autres cas.

L'émissivité normale déclarée doit être justifiée par un rapport d'essai émanant d'un laboratoire notifié sinon considérer le vitrage comme non traité.

■ Exemple

Recherche du coefficient U_g (non certifié) 4-14-4 avec une lame d'argon à taux de remplissage certifié de 85 % et une émissivité normale déclarée de 0,05 (avec rapport justificatif) :

- émissivité normale utile : $\epsilon_n = 0,05 + 0,02 = 0,07$;
- U_g par interpolation d'après le *tableau XVII* : $U_g = 1,3 W/(m^2.K)$.

3.1.1 Vitrages simples

3.1.1.1 Verres clairs quelle que soit leur épaisseur

$U_g = 5,8 W/(m^2.K)$, s'il s'agit d'un vitrage vertical ;

$U_g = 6,9 W/(m^2.K)$, s'il s'agit d'un vitrage horizontal.

3.1.1.2 Verres à couche quelle que soit leur épaisseur

Tableau XV

U_g $W/(m^2.K)$	Verres à couche Émissivité normale utile ϵ_n								
	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
Verres à couche verticaux	2,5	2,7	3,1	3,5	3,9	4,2	4,6	4,9	5,2
Verres à couche horizontaux	4,3	4,5	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7

3.1.2 Doubles vitrages verticaux

3.1.2.1 Remplissage air à 100 %

Tableau XVI

Épaisseur lame (mm)	U_g W/(m ² .K)									
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile ϵ_n								
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
6	3,3	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9
8	3,1	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7
10	2,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5
12	2,8	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
14	2,8	1,5	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2
15	2,7	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
16	2,7	1,4	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
18	2,7	1,4	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
20	2,7	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2

3.1.2.2 Remplissage argon à 85 %

Tableau XVII

Épaisseur lame (mm)	U_g W/(m ² .K)									
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile ϵ_n								
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
6	3,1	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6
8	2,9	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4
10	2,8	1,5	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
12	2,7	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1
14	2,6	1,2	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
15	2,6	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,0
16	2,6	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,0
18	2,6	1,2	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
20	2,6	1,2	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1

3.1.2.3 Remplissage argon à 90 %

Tableau XVIII

Épaisseur lame (mm)	U_g W/(m ² .K)									
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile ϵ_n								
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
6	3,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6
8	2,9	1,7	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4
10	2,8	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2
12	2,7	1,3	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,0	2,1
14	2,6	1,2	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0
15	2,6	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
16	2,6	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
18	2,6	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,0
20	2,6	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0

3.1.2.4 Remplissage krypton à 85 %

Tableau XIX

Épaisseur lame (mm)	U_g W/(m ² .K)									
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile ϵ_n								
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
6	2,8	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
8	2,7	1,3	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
10	2,6	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
12	2,6	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
14	2,6	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,0
15	2,6	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,0
16	2,6	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0
18	2,6	1,2	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
20	2,6	1,2	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1

3.1.2.5 Remplissage krypton à 90 %

Tableau XX

Épaisseur lame (mm)	U_g W/(m ² .K)									
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile ϵ_n								
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
6	2,8	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2
8	2,7	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
10	2,6	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
12	2,6	1,1	1,1	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
14	2,6	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
15	2,6	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
16	2,6	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
18	2,6	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
20	2,6	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0

3.1.3 Doubles vitrages horizontaux

3.1.3.1 Remplissage air à 100 %

Tableau XXI

Épaisseur lame (mm)	U_g W/(m ² .K)									
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile ϵ_n								
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
6	3,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2	3,2
8	3,5	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	3,0
10	3,4	2,3	2,3	2,4	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	2,9
12	3,4	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9
14	3,4	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9
15	3,4	2,2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9
16	3,4	2,2	2,2	2,3	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9
18	3,4	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
20	3,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8

3.1.3.2 Remplissage argon à 85 %

Tableau XXII

Épaisseur lame (mm)	U_g W/(m ² .K)									
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile ε_n								
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
6	3,4	2,2	2,2	2,3	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
8	3,3	2,0	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7
10	3,2	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
12	3,2	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
14	3,2	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6
15	3,2	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6
16	3,2	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6
18	3,2	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
20	3,2	1,8	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6

3.1.3.3 Remplissage argon à 90 %

Tableau XXIII

Épaisseur lame (mm)	U_g W/(m ² .K)									
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile ε_n								
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
6	3,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8
8	3,2	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
10	3,2	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
12	3,2	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6
14	3,2	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6
15	3,2	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
16	3,2	1,8	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
18	3,2	1,8	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
20	3,1	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6

3.1.3.4 Remplissage krypton à 85 %

Tableau XXIV

Épaisseur lame (mm)	U_g W/(m ² .K)									
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile ϵ_n								
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
6	3,2	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6
8	3,2	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
10	3,2	1,8	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
12	3,1	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
14	3,1	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5
15	3,1	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,4	2,5
16	3,1	1,7	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
18	3,1	1,7	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
20	3,1	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5

3.1.3.5 Remplissage krypton à 90 %

Tableau XXV

Épaisseur lame (mm)	U_g W/(m ² .K)									
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile ϵ_n								
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
6	3,2	1,8	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
8	3,1	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5
10	3,1	1,7	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,3	2,4	2,5
12	3,1	1,7	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
14	3,1	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
15	3,1	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
16	3,1	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
18	3,1	1,6	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4
20	3,0	1,6	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,3	2,4

3.1.4 Triples vitrages verticaux

3.1.4.1 Remplissage air à 100 %

Tableau XXVI

Épaisseur de chacune des deux lames (mm)	U_g W/(m ² .K)					
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée				
		Émissivité normale utile ϵ_n (dans chacune des deux lames)				
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
6	2,3	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8
8	2,1	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5
10	2,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4
12	1,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2
14	1,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1
15	1,8	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1
16	1,8	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1

3.1.4.2 Remplissage argon à 85 %

Tableau XXVII

Épaisseur de chacune des deux lames (mm)	U_g W/(m ² .K)					
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée				
		Émissivité normale utile ϵ_n (dans chacune des deux lames)				
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
6	2,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5
8	1,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3
10	1,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1
12	1,8	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0
14	1,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0
15	1,7	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9
16	1,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9

3.1.4.3 Remplissage argon à 90 %

Tableau XXVIII

Épaisseur de chacune des deux lames (mm)	U_g W/(m ² .K)					
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée				
		Émissivité normale utile ϵ_n (dans chacune des deux lames)				
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
6	2,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5
8	1,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3
10	1,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1
12	1,8	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0
14	1,7	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
15	1,7	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9
16	1,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9

3.1.4.4 Remplissage krypton à 85 %

Tableau XXIX

Épaisseur de chacune des deux lames (mm)	U_g W/(m ² .K)					
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée				
		Émissivité normale utile ϵ_n (dans chacune des deux lames)				
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
6	1,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2
8	1,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0
10	1,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9
12	1,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
14	1,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
15	1,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
16	1,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

3.1.4.5 Remplissage krypton à 90 %

Tableau XXX

Épaisseur de chacune des deux lames (mm)	U_g W/(m ² .K)					
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée				
		Émissivité normale utile ϵ_n (dans chacune des deux lames)				
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
6	1,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1
8	1,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0
10	1,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9
12	1,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8
14	1,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8
15	1,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8
16	1,6	0,5	0,5	0,7	0,8	0,8

3.1.5 Triples vitrages horizontaux

3.1.5.1 Remplissage air à 100 %

Tableau XXXI

Épaisseur de chacune des deux lames (mm)	U_g W/(m ² .K)					
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile ϵ_n (dans chacune des deux lames)				
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
6	2,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9
8	2,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
10	2,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5
12	2,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4
14	2,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4
15	2,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4
16	2,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4

3.1.5.2 Remplissage argon à 85 %

Tableau XXXII

Épaisseur de chacune des deux lames (mm)	U_g W/(m ² .K)					
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile ϵ_n (dans chacune des deux lames)				
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
6	2,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6
8	2,1	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3
10	2,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3
12	2,0	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2
14	2,0	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2
15	2,0	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2
16	2,0	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2

3.1.5.3 Remplissage argon à 90 %

Tableau XXXIII

Épaisseur de chacune des deux lames (mm)	U_g W/(m ² .K)					
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée				
		Émissivité normale utile ε_n (dans chacune des deux lames)				
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
6	2,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5
8	2,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3
10	2,0	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2
12	2,0	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2
14	2,0	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2
15	2,0	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2
16	2,0	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2

3.1.5.4 Remplissage krypton à 85 %

Tableau XXXIV

Épaisseur de chacune des deux lames (mm)	U_g W/(m ² .K)					
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée				
		Émissivité normale utile ε_n (dans chacune des deux lames)				
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
6	2,0	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2
8	2,0	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2
10	1,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2
12	1,9	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
14	1,9	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
15	1,9	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1
16	1,9	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1

3.1.5.5 Remplissage krypton à 90 %

Tableau XXXV

Épaisseur de chacune des deux lames (mm)	U_g W/(m ² .K)					
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée				
		Émissivité normale utile ε_n (dans chacune des deux lames)				
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
6	1,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2
8	1,9	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
10	1,9	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1
12	1,9	0,8	0,8	1,0	1,0	1,1
14	1,9	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1
15	1,9	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1
16	1,9	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1

3.2 Coefficient ψ de la jonction entre élément de remplissage et profilé de menuiserie, en W/(m.K)

Les valeurs par défaut ci-après peuvent être utilisées en absence de valeurs plus précises obtenues en appliquant la méthode décrite au *paragraphe 2.3.3*.

3.2.1 L'élément de remplissage est un double ou triple vitrage à espaceur aluminium, pris dans une feuillure (fenêtres et portes-fenêtres uniquement)

Tableau XXXVI

Matériaux de la menuiserie *	Doubles ou triples vitrages, verre non traité, lame d'air ou de gaz	Doubles vitrages à faible émissivité, triples vitrages avec deux couches à faible émissivité, lame d'air ou de gaz
	ψ_g W/(m.K)	ψ_g W/(m.K)
Bois ou plastique	0,06	0,08
Métal à coupure thermique	0,08	0,11
Métal sans coupure thermique	0,02	0,05

* Si le vitrage est tenu dans la feuillure par un élément métallique, la menuiserie doit être considérée comme métallique.

3.2.2 L'élément de remplissage est un vitrage double ou triple à espaceur thermiquement amélioré, pris dans une feuillure (fenêtres et portes-fenêtres uniquement)

Tableau XXXVII

Matériaux de la menuiserie *	Doubles ou triples vitrages, verre non traité, lame d'air ou de gaz	Doubles vitrages à faible émissivité, triples vitrages avec deux couches à faible émissivité, lame d'air ou de gaz
	ψ_g W/(m.K)	ψ_g W/(m.K)
Bois ou plastique	0,05	0,06
Métal à coupure thermique	0,06	0,08
Métal sans coupure thermique	0,01	0,04

* Si le vitrage est tenu dans la feuillure par un élément métallique, la menuiserie doit être considérée comme métallique.

3.2.3 L'élément de remplissage est un panneau opaque avec espaceur

Tableau XXXVIII

Type de panneau	Conductivité thermique de l'espaceur	Coefficient linéique de la jonction panneau – menuiserie
	λ W/(m.K)	ψ_p W/(m.K)
Aluminium / Aluminium	0,2	0,17
	0,4	0,26
Aluminium / Verre	0,2	0,14
	0,4	0,20
Acier / Verre	0,2	0,12
	0,4	0,17

3.3 Coefficient U_w des parois vitrées courantes

Définition des parois vitrées courantes :

- vitrages : le coefficient de transmission surfacique en partie courante varie entre 0,5 et 2,9 W/(m².K) ;
- menuiseries métalliques : pour les menuiseries métalliques à rupture de pont thermique, trois valeurs du coefficient U_f de menuiserie sont envisagées : 3,0 – 4,0 et 5,0 W/(m².K) ;
- menuiseries PVC : trois valeurs du coefficient U_f de menuiserie sont envisagées : 1,5 – 1,8 et 2,5 W/(m².K) ;
- menuiseries bois : trois valeurs du coefficient U_f de menuiserie sont envisagées : 1,2 – 2,0 et 2,5 W/(m².K) ;
- intercalaire : les valeurs utilisées correspondent à des espaceurs en aluminium (cf. *tableau XXXVI*) ;
- rapport de la surface de clair à la surface hors tout de la fenêtre σ' : cf. *tableau XXXIX* ci-après ;
- dimensions conventionnelles hors tout de la fenêtre ou de la porte-fenêtre (2 vantaux) : cf. *tableau XXXIX* ci-après.

Tableau XXXIX

Matériaux	σ'	Dimensions conventionnelles Hauteur x Largeur (m)
Métal avec coupure thermique		
– Fenêtre battante	0,66	1,48 x 1,53
– Porte-fenêtre battante	0,71	2,18 x 1,53
– Fenêtre coulissante	0,74	1,48 x 1,53
– Porte-fenêtre coulissante	0,80	2,18 x 2,35
PVC		
– Fenêtre battante	0,62	1,48 x 1,53
– Porte-fenêtre battante sans soubassement	0,65	2,18 x 1,53
– Porte-fenêtre battante avec soubassement	0,57	2,18 x 1,53
– Fenêtre coulissante	0,69	1,48 x 1,53
– Porte-fenêtre coulissante	0,74	2,18 x 2,35
Bois		
– Fenêtre battante	0,66	1,48 x 1,53
– Porte-fenêtre battante sans soubassement	0,71	2,18 x 1,53
– Porte-fenêtre battante avec soubassement	0,60	2,18 x 1,53
– Porte-fenêtre coulissante sans soubassement	0,71	2,18 x 2,35

3.3.1 Menuiserie métallique à rupture de pont thermique

Tableau XL

Type de la paroi vitrée	U_g du vitrage W/(m ² .K)	U_w de la paroi vitrée nue en fonction de U_f menuiserie W/(m ² .K)			
		$U_f = 1,2$	$U_f = 3,0$	$U_f = 4,0$	$U_f = 5,0$
Fenêtres battantes	0,5	1,1	1,7	2,1	2,4
	0,6	1,2	1,8	2,1	2,5
	0,7	1,3	1,9	2,2	2,5
	0,8	1,3	1,9	2,3	2,6
	0,9	1,4	2,0	2,3	2,7
	1,0	1,5	2,1	2,4	2,7
	1,1	1,5	2,1	2,5	2,8
	1,2	1,6	2,2	2,5	2,9
	1,3	1,7	2,3	2,6	2,9
	1,4	1,7	2,3	2,7	3,0
	1,5	1,8	2,4	2,7	3,1
	1,6	1,8	2,5	2,8	3,1
	1,7	1,9	2,5	2,9	3,2
	1,8	2,0	2,6	2,9	3,3
	1,9	2,0	2,7	3,0	3,3
	2,0	2,1	2,7	3,0	3,4
	2,1	2,1	2,7	3,0	3,4
	2,2	2,1	2,8	3,1	3,4
	2,3	2,2	2,8	3,2	3,5
	2,4	2,3	2,9	3,2	3,6
2,5	2,3	3,0	3,3	3,6	
2,6	2,4	3,0	3,4	3,7	
2,7	2,5	3,1	3,4	3,8	
2,8	2,5	3,1	3,5	3,8	
2,9	2,6	3,2	3,6	3,9	

Tableau XL (suite)

Type de la paroi vitrée	U_g du vitrage W/(m ² .K)	U_w de la paroi vitrée nue en fonction de U_f menuiserie W/(m ² .K)			
		$U_f = 1,2$	$U_f = 3,0$	$U_f = 4,0$	$U_f = 5,0$
Portes-fenêtres battantes	0,5	1,1	1,6	1,9	2,2
	0,6	1,2	1,7	2,0	2,3
	0,7	1,2	1,8	2,0	2,3
	0,8	1,3	1,8	2,1	2,4
	0,9	1,4	1,9	2,2	2,5
	1,0	1,4	2,0	2,3	2,5
	1,1	1,5	2,0	2,3	2,6
	1,2	1,6	2,1	2,4	2,7
	1,3	1,7	2,2	2,5	2,8
	1,4	1,7	2,2	2,5	2,8
	1,5	1,8	2,3	2,6	2,9
	1,6	1,9	2,4	2,7	3,0
	1,7	1,9	2,5	2,7	3,0
	1,8	2,0	2,5	2,8	3,1
	1,9	2,1	2,6	2,9	3,2
	2,0	2,2	2,6	2,9	3,2
	2,1	2,1	2,6	2,9	3,2
	2,2	2,2	2,7	3,0	3,3
	2,3	2,3	2,8	3,1	3,4
	2,4	2,3	2,9	3,1	3,4
2,5	2,4	2,9	3,2	3,5	
2,6	2,5	3,0	3,3	3,6	
2,7	2,5	3,1	3,4	3,6	
2,8	2,6	3,1	3,4	3,7	
2,9	2,7	3,2	3,5	3,8	

Tableau XLI

Type de la paroi vitrée	U_g du vitrage W/(m ² .K)	U_w de la paroi vitrée nue en fonction de U_f menuiserie W/(m ² .K)		
		$U_f = 3,0$ *	$U_f = 4,0$	$U_f = 5,0$
Fenêtres coulissantes	0,5	–	1,8	2,1
	0,6	–	1,9	2,1
	0,7	–	1,9	2,2
	0,8	–	2,0	2,3
	0,9	–	2,1	2,4
	1,0	–	2,2	2,4
	1,1	–	2,2	2,5
	1,2	–	2,3	2,6
	1,3	–	2,4	2,6
	1,4	–	2,5	2,7
	1,5	–	2,5	2,8
	1,6	–	2,6	2,9
	1,7	–	2,7	2,9
	1,8	–	2,8	3,0
	1,9	–	2,8	3,1
	2,0	–	2,9	3,1
	2,1	–	2,9	3,1
	2,2	–	2,9	3,2
	2,3	–	3,0	3,3
	2,4	–	3,1	3,4
2,5	–	3,2	3,4	
2,6	–	3,2	3,5	
2,7	–	3,3	3,6	
2,8	–	3,4	3,7	
2,9	–	3,5	3,7	

* Valeur non prise en compte : pour les profilés coulissants courants en métal à coupure thermique $U_f > 3,0$ W/(m².K).

Tableau XLI (suite)

Type de la paroi vitrée	U_g du vitrage W/(m ² .K)	U_w de la paroi vitrée nue en fonction de U_f menuiserie W/(m ² .K)		
		$U_f = 3,0$ *	$U_f = 4,0$	$U_f = 5,0$
Portes-fenêtres coulissantes	0,5	–	1,6	1,8
	0,6	–	1,7	1,9
	0,7	–	1,7	1,9
	0,8	–	1,8	2,0
	0,9	–	1,9	2,1
	1,0	–	2,0	2,2
	1,1	–	2,1	2,3
	1,2	–	2,1	2,3
	1,3	–	2,2	2,4
	1,4	–	2,3	2,5
	1,5	–	2,4	2,6
	1,6	–	2,5	2,7
	1,7	–	2,5	2,7
	1,8	–	2,6	2,8
	1,9	–	2,7	2,9
	2,0	–	2,8	3,0
	2,1	–	2,8	3,0
	2,2	–	2,8	3,0
	2,3	–	2,9	3,1
	2,4	–	3,0	3,2
2,5	–	3,1	3,3	
2,6	–	3,2	3,4	
2,7	–	3,2	3,4	
2,8	–	3,3	3,5	
2,9	–	3,4	3,6	

* Valeur non prise en compte : pour les profilés coulissants courants en métal à coupure thermique $U_f > 3,0$ W/(m².K).

3.3.2 Menuiserie en PVC

Tableau XLII

Type de la paroi vitrée	U_g du vitrage W/(m ² .K)	U_w de la paroi vitrée nue en fonction de U_f menuiserie W/(m ² .K)			
		$U_f = 1,2$	$U_f = 1,5$	$U_f = 1,8$	$U_f = 2,5$
Fenêtres battantes	0,5	1,0	1,2	1,3	1,5
	0,6	1,1	1,2	1,3	1,6
	0,7	1,2	1,3	1,4	1,7
	0,8	1,2	1,3	1,5	1,7
	0,9	1,3	1,4	1,5	1,8
	1,0	1,4	1,5	1,6	1,9
	1,1	1,4	1,5	1,6	1,9
	1,2	1,5	1,6	1,7	2,0
	1,3	1,5	1,7	1,8	2,1
	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1
	1,5	1,7	1,8	1,9	2,2
	1,6	1,7	1,9	2,0	2,3
	1,7	1,8	2,0	2,0	2,3
	1,8	1,9	2,0	2,1	2,4
	1,9	1,9	2,1	2,2	2,4
	2,0	2,0	2,1	2,2	2,5
	2,1	2,0	2,1	2,2	2,5
	2,2	2,0	2,2	2,3	2,5
	2,3	2,1	2,3	2,4	2,6
	2,4	2,2	2,3	2,4	2,6
2,5	2,2	2,4	2,5	2,7	
2,6	2,3	2,5	2,6	2,8	
2,7	2,3	2,6	2,6	2,9	
2,8	2,4	2,6	2,7	2,9	
2,9	2,5	2,7	2,8	3,0	

Tableau XLII (suite)

Type de la paroi vitrée	U_g du vitrage W/(m ² .K)	U_w de la paroi vitrée nue en fonction de U_f menuiserie W/(m ² .K)			
		$U_f = 1,2$	$U_f = 1,5$	$U_f = 1,8$	$U_f = 2,5$
Portes-fenêtres battantes sans soubassement	0,5	1,0	1,1	1,2	1,5
	0,6	1,1	1,2	1,3	1,5
	0,7	1,2	1,3	1,4	1,6
	0,8	1,2	1,3	1,4	1,7
	0,9	1,3	1,4	1,5	1,7
	1,0	1,4	1,5	1,6	1,8
	1,1	1,4	1,5	1,6	1,9
	1,2	1,5	1,6	1,7	2,0
	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0
	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1
	1,5	1,7	1,8	1,9	2,2
	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2
	1,7	1,8	2,0	2,0	2,3
	1,8	1,9	2,0	2,1	2,4
	1,9	1,9	2,1	2,2	2,4
	2,0	2,0	2,1	2,2	2,5
	2,1	2,0	2,1	2,2	2,5
	2,2	2,1	2,2	2,3	2,5
	2,3	2,1	2,3	2,4	2,6
	2,4	2,2	2,3	2,4	2,6
2,5	2,3	2,4	2,5	2,7	
2,6	2,3	2,5	2,6	2,8	
2,7	2,4	2,6	2,6	2,9	
2,8	2,5	2,6	2,7	2,9	
2,9	2,5	2,7	2,8	3,0	

Tableau XLIII

Type de la paroi vitrée	U_g du vitrage $W/(m^2.K)$	U_w de la paroi vitrée nue en fonction de U_f menuiserie $W/(m^2.K)$			
		$U_f = 1,2$	$U_f = 1,5$	$U_f = 1,8$	$U_f = 2,5$
Portes-fenêtres battantes avec soubassement	0,5	1,1	1,2	1,3	1,6
	0,6	1,1	1,3	1,4	1,7
	0,7	1,2	1,3	1,5	1,8
	0,8	1,3	1,4	1,5	1,8
	0,9	1,3	1,4	1,6	1,9
	1,0	1,4	1,5	1,6	1,9
	1,1	1,4	1,6	1,7	2,0
	1,2	1,5	1,6	1,8	2,1
	1,3	1,5	1,7	1,8	2,1
	1,4	1,6	1,8	1,9	2,2
	1,5	1,7	1,8	1,9	2,2
	1,6	1,7	1,9	2,0	2,3
	1,7	1,8	1,9	2,1	2,4
	1,8	1,8	2,0	2,1	2,4
	1,9	1,9	2,1	2,2	2,5
	2,0	1,9	2,1	2,2	2,5
	2,1	1,9	2,1	2,2	2,5
	2,2	2,0	2,2	2,3	2,5
	2,3	2,0	2,2	2,3	2,6
	2,4	2,1	2,3	2,4	2,7
2,5	2,2	2,4	2,5	2,7	
2,6	2,2	2,4	2,5	2,8	
2,7	2,3	2,5	2,6	2,8	
2,8	2,3	2,6	2,7	2,9	
2,9	2,4	2,6	2,7	3,0	

Tableau XLIV

Type de la paroi vitrée	U_g du vitrage W/(m ² .K)	U_w de la paroi vitrée nue en fonction de U_f menuiserie W/(m ² .K)		
		$U_f = 1,5$ *	$U_f = 1,8$ *	$U_f = 2,5$
Fenêtres coulissantes	0,5	–	–	1,4
	0,6	–	–	1,5
	0,7	–	–	1,5
	0,8	–	–	1,6
	0,9	–	–	1,7
	1,0	–	–	1,7
	1,1	–	–	1,8
	1,2	–	–	1,9
	1,3	–	–	2,0
	1,4	–	–	2,1
	1,5	–	–	2,1
	1,6	–	–	2,2
	1,7	–	–	2,3
	1,8	–	–	2,3
	1,9	–	–	2,4
	2,0	–	–	2,4
	2,1	–	–	2,4
	2,2	–	–	2,5
	2,3	–	–	2,6
	2,4	–	–	2,6
2,5	–	–	2,7	
2,6	–	–	2,8	
2,7	–	–	2,9	
2,8	–	–	2,9	
2,9	–	–	3,0	

* Valeurs non prises en compte : pour les profilés coulissants courants en PVC, $U_f > 1,8$ W/(m².K).

Tableau XLIV (suite)

Type de la paroi vitrée	U_g du vitrage W/(m ² .K)	U_w de la paroi vitrée nue en fonction de U_f menuiserie W/(m ² .K)		
		$U_f = 1,5$ *	$U_f = 1,8$ *	$U_f = 2,5$
Portes-fenêtres coulissantes	0,5	–	–	1,3
	0,6	–	–	1,4
	0,7	–	–	1,4
	0,8	–	–	1,5
	0,9	–	–	1,6
	1,0	–	–	1,7
	1,1	–	–	1,7
	1,2	–	–	1,8
	1,3	–	–	1,9
	1,4	–	–	2,0
	1,5	–	–	2,1
	1,6	–	–	2,1
	1,7	–	–	2,2
	1,8	–	–	2,3
	1,9	–	–	2,4
	2,0	–	–	2,4
	2,1	–	–	2,4
	2,2	–	–	2,5
	2,3	–	–	2,6
	2,4	–	–	2,6
2,5	–	–	2,7	
2,6	–	–	2,8	
2,7	–	–	2,9	
2,8	–	–	3,0	
2,9	–	–	3,0	

* Valeurs non prises en compte : pour les profilés coulissants courants en PVC, $U_f > 1,8$ W/(m².K).

3.3.3 Menuiserie en bois

Tableau XLV

Type de la paroi vitrée	U_g du vitrage W/(m ² .K)	U_w de la paroi vitrée nue en fonction de U_f menuiserie W/(m ² .K)		
		$U_f = 1,2$	$U_f = 2,0$	$U_f = 2,5$
Fenêtres battantes	0,5	1,0	1,3	1,5
	0,6	1,1	1,4	1,5
	0,7	1,2	1,4	1,6
	0,8	1,2	1,5	1,7
	0,9	1,3	1,6	1,7
	1,0	1,3	1,6	1,8
	1,1	1,4	1,7	1,9
	1,2	1,5	1,8	1,9
	1,3	1,5	1,8	2,0
	1,4	1,6	1,9	2,1
	1,5	1,7	2,0	2,1
	1,6	1,7	2,0	2,2
	1,7	1,8	2,1	2,2
	1,8	1,9	2,2	2,3
	1,9	1,9	2,2	2,4
	2,0	2,0	2,3	2,4
	2,1	2,0	2,3	2,4
	2,2	2,1	2,4	2,5
	2,3	2,1	2,4	2,5
	2,4	2,2	2,5	2,6
2,5	2,3	2,6	2,7	
2,6	2,3	2,6	2,8	
2,7	2,4	2,7	2,8	
2,8	2,5	2,8	2,9	
2,9	2,5	2,8	3,0	

Tableau XLV (suite)

Type de la paroi vitrée	U_g du vitrage W/(m ² .K)	U_w de la paroi vitrée nue en fonction de U_i menuiserie W/(m ² .K)		
		$U_i = 1,2$	$U_i = 2,0$	$U_i = 2,5$
Portes-fenêtres battantes sans soubassement ou coulissantes	0,5	1,0	1,2	1,4
	0,6	1,1	1,3	1,4
	0,7	1,1	1,4	1,5
	0,8	1,2	1,4	1,6
	0,9	1,3	1,5	1,6
	1,0	1,3	1,6	1,7
	1,1	1,4	1,6	1,8
	1,2	1,5	1,7	1,9
	1,3	1,6	1,8	1,9
	1,4	1,6	1,9	2,0
	1,5	1,7	2,0	2,1
	1,6	1,8	2,0	2,1
	1,7	1,8	2,1	2,2
	1,8	1,9	2,2	2,3
	1,9	2,0	2,2	2,4
	2,0	2,0	2,3	2,4
	2,1	2,0	2,3	2,4
	2,2	2,1	2,4	2,5
	2,3	2,2	2,4	2,5
	2,4	2,3	2,5	2,6
2,5	2,3	2,6	2,7	
2,6	2,4	2,7	2,8	
2,7	2,5	2,7	2,8	
2,8	2,5	2,8	2,9	
2,9	2,6	2,9	3,0	

Tableau XLVI

Type de la paroi vitrée	U_g du vitrage W/(m ² .K)	U_w de la paroi vitrée nue en fonction de U_f menuiserie W/(m ² .K)		
		$U_f = 1,2$	$U_f = 2,0$	$U_f = 2,5$
Portes-fenêtres battantes avec soubassement	0,5	1,0	1,4	1,6
	0,6	1,1	1,4	1,6
	0,7	1,1	1,5	1,7
	0,8	1,2	1,6	1,8
	0,9	1,3	1,6	1,8
	1,0	1,3	1,7	1,9
	1,1	1,4	1,7	1,9
	1,2	1,5	1,8	2,0
	1,3	1,6	1,9	2,1
	1,4	1,6	2,0	2,1
	1,5	1,7	2,0	2,2
	1,6	1,8	2,1	2,2
	1,7	1,8	2,1	2,3
	1,8	1,9	2,2	2,4
	1,9	2,0	2,3	2,4
	2,0	2,0	2,3	2,4
	2,1	2,0	2,3	2,4
	2,2	2,1	2,3	2,5
	2,3	2,2	2,4	2,6
	2,4	2,3	2,5	2,6
2,5	2,3	2,5	2,7	
2,6	2,4	2,6	2,7	
2,7	2,5	2,7	2,8	
2,8	2,5	2,7	2,9	
2,9	2,6	2,8	2,9	

3.4 Coefficient de transmission thermique des fenêtres équipées de protections mobiles U_{ws}

Tableau XLVII

U_w Paroi nue W/(m ² .K)	U_{ws} pour une résistance thermique complémentaire Δ_R de : m ² .K/W			
	0,08	0,14	0,19	0,25
1,2	1,1	1,0	1,0	0,9
1,3	1,2	1,1	1,0	1,0
1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
1,5	1,3	1,2	1,2	1,1
1,6	1,4	1,3	1,2	1,1
1,7	1,5	1,4	1,3	1,2
1,8	1,6	1,4	1,3	1,2
1,9	1,6	1,5	1,4	1,3
2,0	1,7	1,6	1,4	1,3
2,1	1,8	1,6	1,5	1,4
2,2	1,9	1,7	1,6	1,4
2,3	1,9	1,7	1,6	1,5
2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
2,5	2,1	1,9	1,7	1,5
2,6	2,2	1,9	1,7	1,6
2,7	2,2	2,0	1,8	1,6
2,8	2,3	2,0	1,8	1,6
2,9	2,4	2,1	1,9	1,7

Des valeurs intermédiaires de U_{ws} peuvent être obtenues par interpolation avec suffisamment de précision.
 ΔR est la résistance thermique additionnelle apportée par l'ensemble protection mobile - lame d'air ventilée.

3.5 Coefficient de transmission thermique moyen $U_{\text{jour-nuit}}$

Tableau XLVIII

U_w Paroi nue W/(m ² .K)	U_{ws} pour une résistance thermique complémentaire Δ_R de : m ² .K/W			
	0,08	0,14	0,19	0,25
1,2	1,1	1,1	1,1	1,1
1,3	1,2	1,2	1,2	1,1
1,4	1,3	1,3	1,3	1,2
1,5	1,4	1,4	1,3	1,3
1,6	1,5	1,5	1,4	1,4
1,7	1,6	1,5	1,5	1,4
1,8	1,7	1,6	1,6	1,5
1,9	1,8	1,7	1,6	1,6
2,0	1,9	1,8	1,7	1,7
2,1	1,9	1,9	1,8	1,7
2,2	2,0	1,9	1,9	1,8
2,3	2,1	2,0	2,0	1,9
2,4	2,2	2,1	2,0	2,0
2,5	2,3	2,2	2,1	2,0
2,6	2,4	2,3	2,2	2,1
2,7	2,5	2,3	2,2	2,2
2,8	2,5	2,4	2,3	2,2
2,9	2,6	2,5	2,4	2,3

Des valeurs intermédiaires de U_{jn} peuvent être obtenues par interpolation avec suffisamment de précision.

ΔR est la résistance thermique additionnelle apportée par l'ensemble protection mobile - lame d'air ventilée.

3.6 Coefficient U_w des portes courantes

Ne sont concernés ici que les portes courantes. Pour les portes comportant une isolation spécifique et d'une manière générale, pour toutes les portes particulières, on peut se reporter aux Avis Techniques les concernant ou effectuer le calcul selon le NF EN ISO 10077 parties 1 et 2 ou la norme NF EN ISO 6946.

Tableau XLIX

Nature de la menuiserie	Type de portes	Coefficient U W/(m ² .K)
Portes simples en bois	Portes opaques :	
	– pleines	3,5
	– pleines avec montants de 45 mm	3,3
	Portes équipées de vitrage simple :	
– proportion de vitrage < 30 %	4,0	
– proportion de vitrage comprise entre 30 et 60 %	4,5	
	Portes équipées de vitrages doubles à lame d'air de 6 mm quelle que soit la proportion du vitrage	3,3
Portes simples en métal	Portes opaques	5,8
	Portes équipées de vitrages simples quelle que soit la proportion du vitrage	5,8
	Portes équipées de vitrage double :	
	– proportion de vitrage < 30 %	5,5
– proportion de vitrage comprise entre 30 et 60 %	4,8	
Portes en verre sans menuiserie	Portes en vitrage simple	5,8
Éléments souples battants		5,8

3.7 Coefficient de transmission thermique des vitrines

En absence de valeurs de transmission thermique U_w des vitrines, déterminées d'après la méthode de calcul détaillée donnée en *chapitre 2* de ce fascicule, les valeurs suivantes peuvent être utilisées sans justification particulière :

Tableau L : Interpolation possible pour des valeurs intermédiaires de clair de jour

Rapport de la surface de clair à la surface hors tout de la vitrine	U_w W/(m ² .K)
0,40	6,5
0,50	6,4
0,60	6,3
0,70	6,2
0,80	6,0
0,90	5,9
1,00	5,8

Les valeurs du tableau ci-dessus correspondent à des vitrines composées d'un vitrage simple ($U_g = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$) et des profilés métalliques sans rupture de ponts thermiques ($U_f = 7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$).

Pour d'autres compositions de vitrines, le coefficient U_w correspondant doit être déterminé d'après la méthode de calcul détaillée donnée en *chapitre 2* de ce fascicule.

3.8 Coefficient de transmission thermique des lanterneaux ponctuels

Ne sont concernés ici que les lanterneaux ponctuels courants se limitant aux configurations suivantes :

- cadre pare-close métallique sans dispositif de rupture de ponts thermiques ;
- costière métallique pouvant intégrer une isolation de conductivité thermique $\lambda \leq 0,050 \text{ W}/(\text{m.K})$ ou embase en polyester pouvant intégrer une isolation de conductivité thermique $0,023 \leq \lambda \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m.K})$;
- pour les appareils à doubles vantaux, connecteurs métalliques sans dispositif d'isolation.

3.8.1 Coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière Ψ_1

Le coefficient de transmission thermique linéique Ψ_1 à travers la costière, le profil de rive et leur jonction avec la plaque translucide s'obtient par les tableaux suivants :

Tableau LI : Coefficient de transmission thermique linéique Ψ_1 à travers une costière métallique, en $\text{W}/(\text{m.K})$

Liaison costière / remplissage	H	Costière non isolée	Costière isolée 15 mm	Costière isolée $\geq 30 \text{ mm}$
Fixe	15 cm	1,5	1,3	0,7
	45 cm	2,7	2,5	1,3
Ouvrante $h_{\text{cadre}} < 50 \text{ mm}$	15 cm	1,9	1,7	0,9
	45 cm	3,2	2,9	1,5
Ouvrante $h_{\text{cadre}} \geq 50 \text{ mm}$	15 cm	3,4	3,0	1,6
	45 cm	4,6	4,2	2,2

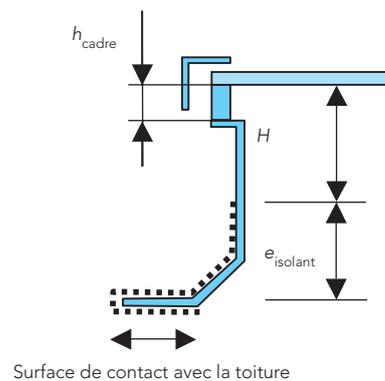
Tableau LII : Coefficient de transmission thermique linéique Ψ_1 à travers une embase polyester pour $h_{\text{cadre}} < 50 \text{ mm}$, en $\text{W}/(\text{m.K})$

H	Embase non isolée	Embase isolée 20 mm $0,1 \leq \lambda \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m.K})$	Embase isolée 20 mm $\lambda \leq 0,045 \text{ W}/(\text{m.K})$	Embase isolée $\geq 35 \text{ mm}$ $\lambda \leq 0,045 \text{ W}/(\text{m.K})$
15 cm	1,5	1,0	0,7	0,5
45 cm	2,9	1,8	1,3	0,9

où

H est la distance entre la sous-face de l'élément de remplissage au niveau de la costière et la face supérieure de l'isolation thermique de la toiture ;

h_{cadre} est la distance entre la sous-face de l'élément de remplissage au niveau de la costière et la face supérieure de la costière.

Figure 33 : h_{cadre}

Des valeurs intermédiaires de Ψ_1 peuvent être obtenues par interpolations linéaires.

Nota : les valeurs des coefficients de transmission linéique Ψ_1 constituent des ponts thermiques intégrés propres au procédé de lanterneau ponctuel et ne doivent donc pas être considérés comme des ponts thermiques de liaison.

3.8.2 Coefficient de transmission thermique surfacique à travers un lanterneau ponctuel

Le coefficient de transmission thermique surfacique U_w à travers le lanterneau ponctuel s'exprime en fonction du coefficient Ψ_1 déterminé au *paragraphe 3.8.1*, du coefficient de transmission surfacique en partie centrale de la plaque de remplissage U_t déterminé au *paragraphe 2.2.2.1*, et des dimensions intérieures de la trémie.

Les valeurs tabulées suivantes sont valables uniquement pour des appareils contenant un élément de remplissage plan à épaisseur constante et des costières droites ($A_t = A_p$). Pour des appareils différents une correction est possible en multipliant les valeurs suivantes par le ratio \hat{A}_t / A_p où :

A_t est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide, vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 ;

A_p est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m^2 .



Figure 34 : Appareils avec élément de remplissage plan et courbé

3.8.2.1 Appareil à simple vantail

Tableau LIII : Coefficients U_w d'un lanterneau à simple vantail de 1 m × 1 m de dimensions intérieures, en W/(m².K)

Coefficient de transmission thermique linéique de la costière Ψ_1 en W/(m.K)	Coefficient de transmission thermique surfacique de l'élément de remplissage U_f en W/(m ² .K)				
	1,5	2	2,5	3	3,5
0,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
0,7	4,3	4,8	5,3	5,8	6,3
0,9	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1
1,1	5,9	6,4	6,9	7,4	7,9
1,3	6,7	7,2	7,7	8,2	8,7
1,5	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
1,7	8,3	8,8	9,3	9,8	10,3
1,9	9,1	9,6	10,1	10,6	11,1
2,1	9,9	10,4	10,9	11,4	11,9
2,3	10,7	11,2	11,7	12,2	12,7
2,5	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5
3	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5
3,5	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5
4	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5
4,5	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5

Tableau LIV : Coefficients U_w d'un lanterneau à simple vantail de 2 m × 2 m de dimensions intérieures, en W/(m².K)

Coefficient de transmission thermique linéique de la costière Ψ_1 en W/(m.K)	Coefficient de transmission thermique surfacique de l'élément de remplissage U_i en W/(m ² .K)				
	1,5	2	2,5	3	3,5
0,5	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
0,7	2,9	3,4	3,9	4,4	4,9
0,9	3,3	3,8	4,3	4,8	5,3
1,1	3,7	4,2	4,7	5,2	5,7
1,3	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1
1,5	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
1,7	4,9	5,4	5,9	6,4	6,9
1,9	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3
2,1	5,7	6,2	6,7	7,2	7,7
2,3	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1
2,5	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
3	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
3,5	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5
4	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5
4,5	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5

3.8.2.2 Appareil à doubles vantaux

Tableau LV : Coefficients U_w d'un lanterneau à doubles vantaux de 1,5 m x 1,5 m de dimensions intérieures, en $W/(m^2.K)$

Coefficient de transmission thermique linéique de la costière Ψ_1 en $W/(m.K)$	Coefficient de transmission thermique surfacique de l'élément de remplissage U_f en $W/(m^2.K)$				
	1,5	2	2,5	3	3,5
0,5	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8
0,7	5,4	5,9	6,4	6,9	7,4
0,9	5,9	6,4	6,9	7,4	7,9
1,1	6,4	6,9	7,4	7,9	8,4
1,3	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
1,5	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
1,7	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
1,9	8,6	9,1	9,6	10,1	10,6
2,1	9,1	9,6	10,1	10,6	11,1
2,3	9,6	10,1	10,6	11,1	11,6
2,5	10,2	10,7	11,2	11,7	12,2
3	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5
3,5	12,8	13,3	13,8	14,3	14,8
4	14,2	14,7	15,2	15,7	16,2
4,5	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5

Tableau LVI : Coefficients U_w d'un lanterneau à doubles vantaux de 2 m x 3 m de dimensions intérieures, en W/(m².K)

Coefficient de transmission thermique linéique de la costière Ψ_1 en W/(m.K)	Coefficient de transmission thermique surfacique de l'élément de remplissage U_i en W/(m ² .K)				
	1,5	2	2,5	3	3,5
0,5	3,3	3,8	4,3	4,8	5,3
0,7	3,7	4,2	4,7	5,2	5,7
0,9	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
1,1	4,3	4,8	5,3	5,8	6,3
1,3	4,7	5,2	5,7	6,2	6,7
1,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1,7	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3
1,9	5,7	6,2	6,7	7,2	7,7
2,1	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
2,3	6,3	6,8	7,3	7,8	8,3
2,5	6,7	7,2	7,7	8,2	8,7
3	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
3,5	8,3	8,8	9,3	9,8	10,3
4	9,2	9,7	10,2	10,7	11,2
4,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0

