

Guide « warm edge »

pour fenêtres et façades

Sommaire

1.0 Introduction	2
2.0 Que signifie « bords chauds » ?	2
3.0 Notions fondamentales pour les fiches BF	6
3.1 La conductibilité thermique équivalente $\lambda_{eq,2B}$	6
3.2 Délivrance et validité	8
3.3 Domaine d'application autorisé	8
4.0 Fiches BF « Coefficients Psi des fenêtres »	9
4.1 Conception	9
4.2 Coefficients U_w des fenêtres	10
4.3 Application des coefficients Psi représentatifs des fenêtres	11
5.0 Fiches BF « Coefficients Psi des profilés de façade »	12
5.1 Conception	12
5.2 Coefficients U_{cw} pour les façades montants-traverses	13
5.3 Application des coefficients Psi représentatifs des profilés de façade	14
6.0 Le groupe de travail « warm edge »	15
6.1 Les membres du groupe	15
6.2 Résultats des travaux menés jusqu'ici	16
6.3 Perspectives	16
7.0 Traitement thermique des fenêtres à croisillons	17
7.1 Majorations forfaitaires pour les croisillons selon EN 14351-1	17
7.2 Le projet de recherche du groupe du BF dédié aux croisillons	18
7.3 Tableaux avec coefficients Psi forfaitaires pour les croisillons ..	19
8.0 Bibliographie	20

1.0 Introduction

Ce guide « warm edge » est le résultat des travaux menés par le groupe de travail BF « warm edge ». Il parut pour la première fois en 2008, accompagné de la première édition des fiches BF contenant des coefficients Psi représentatifs pour les fenêtres.

Depuis la dernière révision du guide en février 2015, deux autres projets de recherche ont été menés. Leurs résultats ont été intégrés à la présente édition du guide :

- Coefficients Psi des façades :
À l'instigation du secteur des fenêtres et façades, le groupe de travail « warm edge » en coopération avec l'ift Rosenheim et l'université de Rosenheim s'est penché sur le calcul des coefficients Psi représentatifs pour les vitrages fixes dans les façades montants-traverses. Les résultats ont été publiés au printemps 2016 dans les premières fiches BF contenant des coefficients Psi représentatifs pour les profilés de façade.

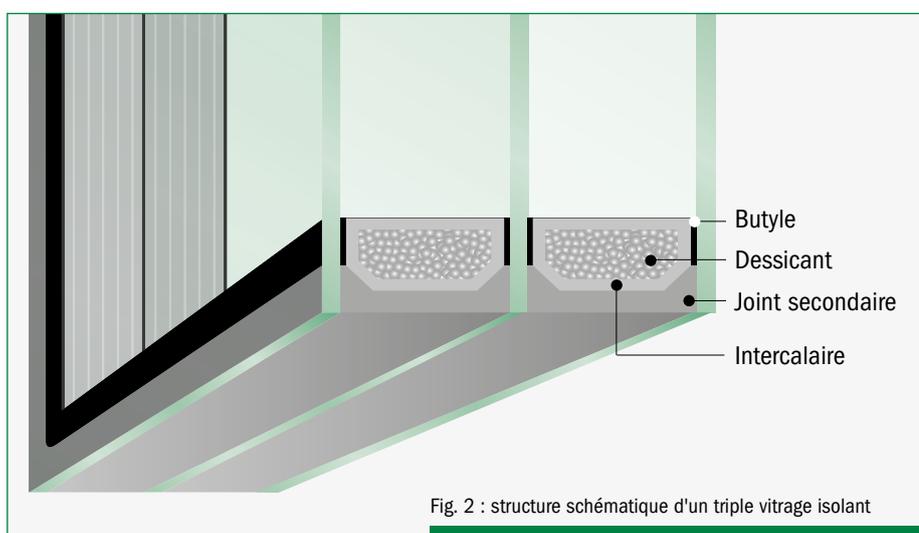
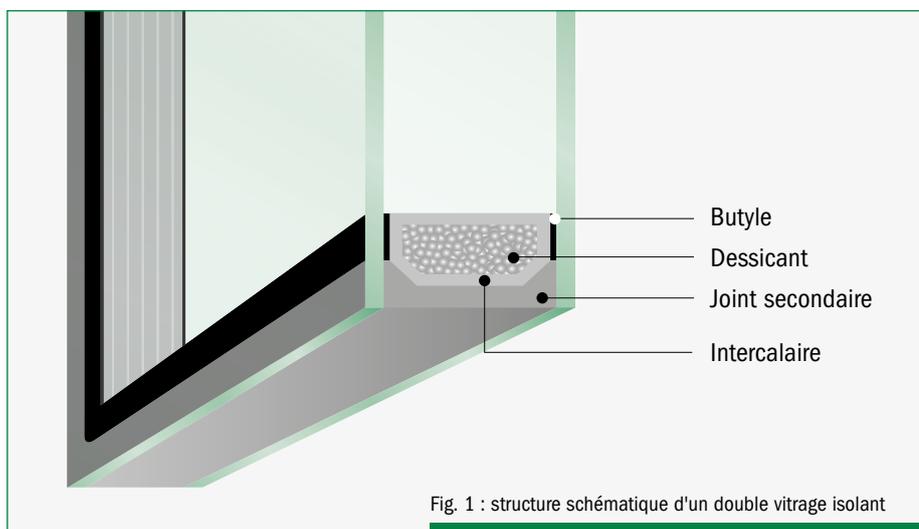
- Coefficients Psi des croisillons :
Mandaté par le groupe du BF (Bundesverband Fachglas – Fédération des fabricants de verre plat) dédié aux croisillons, l'ift Rosenheim a élaboré une solution simple, praticable mais aussi plus précise pour le traitement thermique des fenêtres munies de croisillons dans l'espace intermédiaire. Jusqu'à ce jour, ce type de fenêtres était désavantagé par les majorations forfaitaires appliquées aux coefficients de transmission thermique des fenêtres. Étant donné que cette problématique ainsi que les coefficients Psi des intercalaires ont une incidence sur le calcul des coefficients U_w des fenêtres, elle sera traitée dans le présent guide « warm edge ».

Expliquant les notions fondamentales concernant les bords chauds et présentant les résultats obtenus par le groupe de travail, le guide a également pour but de servir de notice pour l'emploi correct des fiches BF « Coefficients Psi des fenêtres » et « Coefficients Psi des profilés de façade ».

2.0 Que signifie « bords chauds » ?

Le vitrage isolant est constitué d'une ou deux vitres. La distance entre les vitres est déterminée par un profilé intercalaire sur tout le pourtour du bord du verre. C'est ainsi que se crée un espace intermédiaire sur lequel repose le principe d'isolation du vitrage isolant. Associé à un joint primaire en butyle et à un joint secondaire à base de polysulfure, de polyuréthane, de silicone ou de colle thermofusible, l'intercalaire rempli de dessicant a fait ses preuves depuis de nombreuses années et constitue le joint périphérique à deux phases du vitrage isolant (fig. 1 et 2).

Dès l'introduction, en 1959, du joint périphérique organique devenu aujourd'hui un standard pour le vitrage isolant, on utilisa des profilés creux en acier, puis plus tard, en aluminium pour réaliser l'intercalaire. Ces matériaux ont malheureusement pour inconvénient de posséder une forte conductibilité thermique. Monté dans un joint périphérique de vitrage isolant, le profilé en aluminium constitue une excellente liaison thermoconductrice entre la vitre intérieure et la vitre extérieure. Cette caractéristique favorise l'apparition d'importants ponts thermiques linéaires dans les fenêtres et les façades.



Guide « warm edge »

Les intercalaires conventionnels en aluminium ou en acier des vitrages isolants favorisent la formation de ponts thermiques indésirables dans les fenêtres et les façades.

Dans les bâtiments chauffés, les ponts thermiques entraînent une perte de l'énergie de chauffage si précieuse. En raison du flux thermique s'écoulant vers l'extérieur par le biais du pont thermique, la température de surface côté pièce baisse, accentuant ainsi le risque de formation de condensation et de moisissures (fig. 3 et 4). À l'inverse, dans les bâtiments climatisés, les intercalaires conventionnels des vitrages isolants conduisent à une plus grande consommation d'énergie pour refroidir le bâtiment.

Dotés de revêtements fonctionnels et d'un espace intermédiaire rempli de gaz noble, les vitrages thermo-isolants préfabriqués scellés modernes atteignent désormais une conductibilité thermique qui permet de construire des bâtiments transparents inondés de lumière et caractérisés par un grand rendement énergétique. Dans un souci de protection de l'environnement et de rentabilité, les ponts thermiques sont des zones gênantes à éviter absolument dans ce type de bâtiments.

« Bords chauds » ou « warm edge » est l'abréviation désignant un joint périphérique de vitrage isolant, aux caractéristiques thermiques améliorées

Dès les années quatre-vingt-dix, on voit apparaître sur le marché les premiers systèmes intercalaires aux caractéristiques thermiques améliorées. Grâce à l'emploi de matériaux présentant une plus faible conductibilité thermique tels que l'aluminium, les déperditions thermiques ont pu être réduites de moitié au niveau des bords d'un verre isolant. Cette améliora-



Fig. 3 : de légères traces d'eau de condensation peuvent se former au bord de la vitre en raison de l'intercalaire en aluminium à l'intérieur du vitrage isolant.



Fig. 4 : cela risque de favoriser à long terme la formation de moisissures, ce qui est inacceptable et pas seulement d'un point de vue sanitaire.

tion permet d'économiser une énergie de chauffage précieuse, de minimiser le risque de condensation et d'optimiser les coefficients U des fenêtres et des façades. Ces caractéristiques thermiques améliorées du joint périphérique d'un vitrage isolant sont appelées « bords chauds ».

L'acier inoxydable possède une conductibilité thermique dix fois plus faible que l'aluminium. Étant donné que les intercalaires en acier inoxydable se contentent d'épaisseurs de cloisons beaucoup plus minces, ils constituent des systèmes aux caractéristiques thermiques bien supérieures à celles des profilés en aluminium ou en acier. Si, par ailleurs, les zones de profilés sont remplacées par du plastique, ou si l'acier inoxydable dans une version ultra-mince ne sert plus que de simple blocage de diffusion, les coefficients peuvent alors être encore optimisés. D'autres systèmes suivent, d'un point de vue technique, d'autres voies et renoncent entièrement au métal.

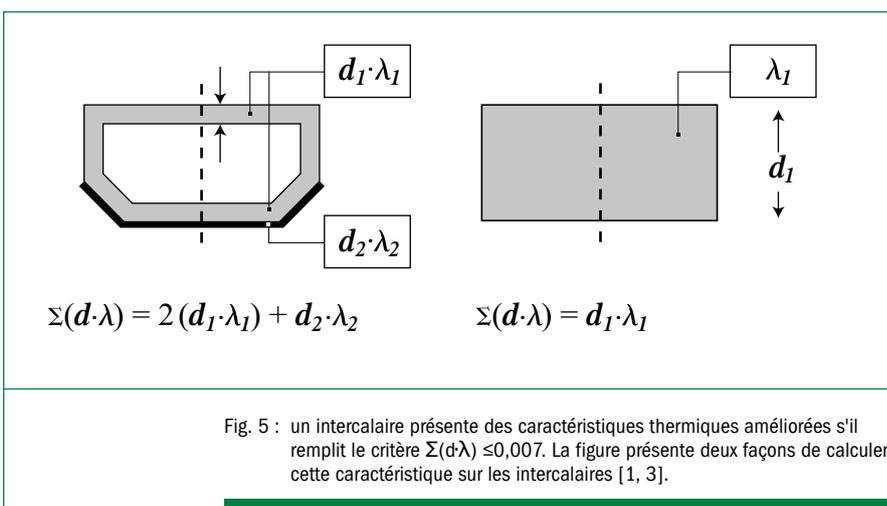
Le marché compte désormais une grande variété de systèmes à bords chauds éprouvés pendant de longues années sur le terrain.

Les « bords chauds » riment avec un plus grand rendement énergétique pour les fenêtres et les façades

Aucun pont thermique ne se laisse aussi facilement éliminer que celui qui est généré par l'intercalaire en aluminium dans la zone de transition entre le verre et le cadre. À d'autres endroits (par ex. au niveau du profilé de la fenêtre ou de la façade), une amélioration semblable du coefficient U_w d'une fenêtre ou du coefficient U_{cw} d'une façade montants-traverses requiert des mesures bien plus complexes.

Matériau	Conductibilité thermique λ en W/(mK)	Matériau	Conductibilité thermique λ en W/(mK)
Aluminium	160	Polysulfure	0,4
Acier	50	Tamis moléculaire	0,1
Acier inoxydable	17	Polycarbonate	0,2
Verre au calcaire et à la soude	1	PVC rigide	0,17

Tableau 1 : exemples de conductibilité thermique des matériaux selon EN ISO 10077-2 [2]. Étant donné que l'emploi que l'on fait de ces matériaux est déterminant, il est impossible de tirer des conclusions sur les caractéristiques thermiques d'un composant en se basant uniquement sur ces valeurs caractéristiques du matériau.



Il existe dans les normes applicables (fig. 5) une définition aussi simple que limpide permettant de distinguer les bords chauds des intercalaires conventionnels : pour les fenêtres dans l'annexe E de la norme EN ISO 10077-1 [1] et pour les façades-rideaux dans l'annexe B de la norme EN ISO 12631 [3].

3.0 Notions fondamentales pour les fiches BF

3.1 La conductibilité thermique équivalente $\lambda_{eq,2B}$

Le groupe de travail « warm edge » a mené à terme fin 2012 un autre projet de recherche subventionné par l'Institut allemand de la technique de la construction (Deutsches Institut für Bautechnik – DIBT) [9, 10]. La difficulté voire l'impossibilité de calculer correctement, sur les constructions d'intercalaires toujours plus complexes, les caractéristiques thermiques des différents composants a été l'élément déclencheur à l'initiative de ce projet. Les données initiales pour le calcul détaillé étaient en effet trop imprécises. Les recherches menées à l'ift Rosenheim ont permis de mettre au point une nouvelle méthode de mesure pour les fiches BF :

- Au lieu de calculer les coefficients Psi représentatifs à partir des valeurs de conductibilité thermique des différents matériaux, on commence désormais par mesurer la conductibilité thermique équivalente $\lambda_{eq,2B}$ d'un intercalaire. Pour y parvenir, des profilés intercalaires remplis de dessiccant et placés hermétiquement entre deux vitres dans le système de plaques sont mesurés. Lors de cette mesure, les composants conducteurs des profilés d'intercalaires doivent être reliés thermiquement au verre par du butyle (cf. fig. 6).
- Grâce à la conductibilité thermique équivalente mesurée $\lambda_{eq,2B}$, il est ensuite possible, sur le modèle Two Box, de calculer les coefficients Psi représentatifs pour les fiches BF.

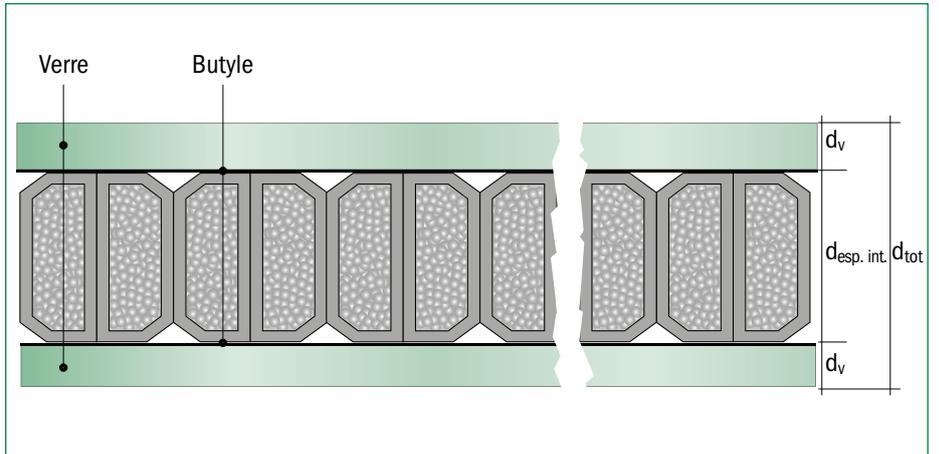


Fig. 6 : structure de l'échantillon servant à mesurer la conductibilité thermique équivalente d'un intercalaire conformément à la directive ift WA 17/1 [5]

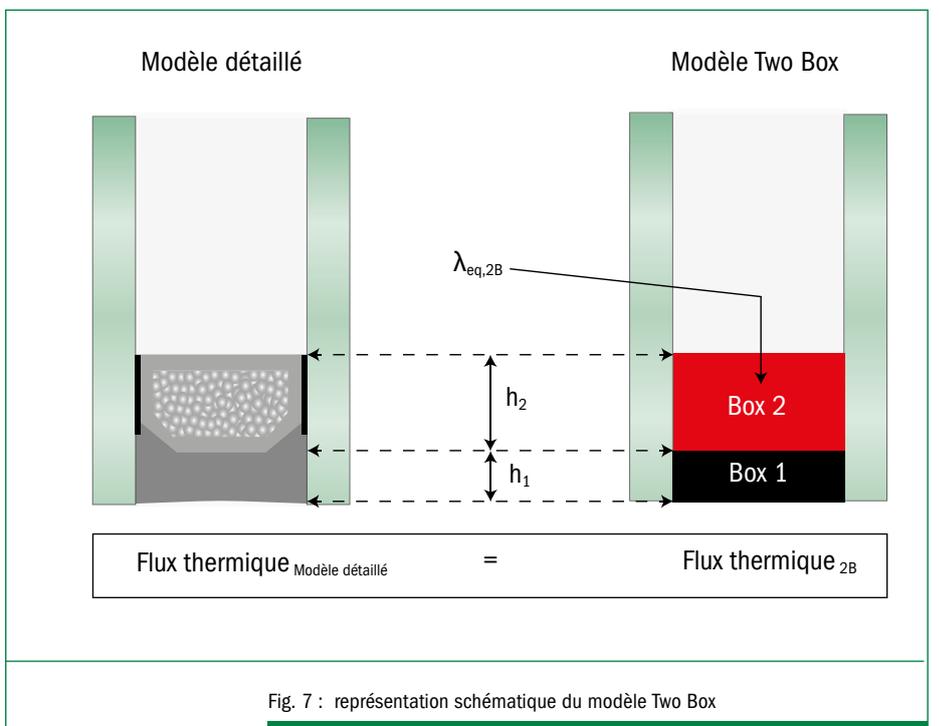


Fig. 7 : représentation schématique du modèle Two Box

Pour ce calcul, le modèle d'intercalaire détaillé avec sa géométrie individuelle et ses différents matériaux est remplacé par un rectangle (appelé Box) de la largeur de l'espace intermédiaire (esp. int.) et de même hauteur que le modèle d'intercalaire détaillé (h_2). En prenant le modèle Two Box, le calcul avec la conductibilité thermique équivalente mesurée $\lambda_{eq,2B}$ aboutit au même flux thermique que le calcul avec un modèle d'intercalaire détaillé (fig. 7).

Mais grâce à ce procédé, il n'est plus nécessaire de déterminer les valeurs de conductibilité thermique individuelles des profilés d'intercalaires composés de plusieurs matériaux.

Pour les calculs des caractéristiques thermiques individuelles selon EN ISO 10077-2 [2], il fallait en effet jusqu'alors connaître la section géométrique exacte d'un intercalaire en plus des différentes conductibilités thermiques. L'utilisation du modèle permet de s'affranchir des contraintes d'une modélisation du joint périphérique du vitrage isolant. Une fois que la conductibilité thermique équivalente $\lambda_{eq,2B}$ a été déterminée, il suffit tout simplement de considérer deux rectangles : le rectangle 1 représente le joint secondaire et le rectangle 2 symbolise l'intercalaire, y compris dessiccant

et butyle. Il est ici primordial que les hauteurs de construction des rectangles correspondent aux hauteurs de construction réelles du matériau d'étanchéité et de l'intercalaire. L'influence de la largeur de l'espace intermédiaire sur la conductibilité thermique équivalente $\lambda_{eq,2B}$ d'un système d'intercalaire est si faible qu'elle est négligeable.

La modélisation simplifiée selon le modèle Two Box facilite énormément les calculs individuels selon la norme EN ISO 10077-2.



Les fiches BF portent désormais le sous-titre « basé sur la mesure de la conductibilité thermique équivalente des intercalaires » en référence à la nouvelle méthode de mesure. Les fiches BF dépourvues de ce sous-titre ne sont plus applicables.

Les valeurs caractéristiques du modèle Two Box, à savoir la conductibilité thermique équivalente $\lambda_{eq,2B}$ et la hauteur de construction h_2 du système à bords chauds concerné, figurent en bas de page sur les fiches BF.

Une explication détaillée du procédé de mesure élaboré dans le cadre du projet de recherche à l'ift Rosenheim figure,

quant à elle, dans la directive ift WA 17/1 [5]. La méthodologie du modèle Two Box est décrite en détail dans les directives ift WA-08/3 et WA-22/1 [4, 6].

Un compte rendu abrégé du projet de recherche peut être téléchargé gratuitement sur le site internet de l'ift Rosenheim (www.ift-rosenheim.de > Geschäftskunden > Forschung > aktuelle Forschungsprojekte) [9].

La version complète du compte rendu peut être achetée dans la boutique en ligne de l'ift Rosenheim [10].

À NOTER : étant donné que les systèmes d'intercalaires possèdent différentes hauteurs de construction h_2 , la conductibilité thermique équivalente $\lambda_{eq,2B}$ ne suffit PAS pour réaliser une comparaison juste de l'efficacité des systèmes à bords chauds ! Seuls les coefficients Ψ représentatifs (ou la valeur $\lambda_{eq,2B} \cdot h_2$) peuvent être comparés directement entre eux.

3.2 Délivrance et validité

Les fiches BF contenant les valeurs Psi représentatives pour les intercalaires aux caractéristiques thermiques améliorées sont publiées par la Fédération des fabricants de verre plat (BF Bundesverband Flachglas). La délivrance d'une fiche BF est précédée d'une procédure d'approbation dont le règlement est fixé par le groupe de travail « warm edge ». Outre la documentation de la détermination des valeurs, un fabricant doit également apporter la preuve de l'aptitude à l'emploi de son système d'intercalaire. Seules les fiches publiées par le BF garantissent que cette procédure a été respectée.

En règle générale, il existe, pour un système à bords chauds donné, deux fiches BF répertoriées sous le numéro de fiche qui lui a été attribué (selon le domaine d'application qu'a prévu le fabricant pour un système d'intercalaire donné, il est possible qu'il n'existe qu'une fiche W ou CW pour ce système).

Exemple :

N° W043 → Fiche BF contenant des coefficients Psi représentatifs pour les fenêtres (W = Window)

N° CW043 → Fiche BF contenant des coefficients Psi représentatifs pour les façades (CW = Curtain Wall)

Pour des raisons techniques dépendant du système, certains intercalaires ne sont utilisés qu'avec de la colle thermofusible comme joint secondaire. Dans ce cas uniquement, une fiche BF séparée, caractérisée par la mention « **valable uniquement pour un scellement périphérique en colle thermofusible** » leur est dédiée. Toutefois, le joint périphérique en colle thermofusible n'est disponible que dans certaines régions géographiques. C'est pourquoi il est mentionné explicitement qu'il n'existe pas de producteurs de ce type de joint périphérique en dehors de ces marchés particuliers, et qu'il serait insensé de demander ce type de joint périphérique à colle thermofusible.

Pour permettre la comparaison des différents intercalaires, toutes les fiches BF standard sont calculées dans des conditions strictement identiques. Le recouvrement périphérique de l'intercalaire par le joint secondaire est fixé à 3 mm pour les fenêtres et à 6 mm pour les façades. On part généralement d'une prise en feuillure de 13 mm. Veuillez consulter la directive ift pour avoir de plus amples détails sur les conditions de la mesure.

Les fiches BF indiquent une précision de $\pm 0,003 \text{ W/(mK)}$ pour la procédure de détermination par le calcul des coefficients Ψ . Cette tolérance montre qu'il ne faut pas accorder trop d'importance au troisième chiffre après la virgule pour les coefficients Ψ .

Les fiches BF actuelles peuvent être téléchargées gratuitement sur le site internet du BF. Seules les fiches BF téléchargeables sur le site internet du BF sont actuellement applicables.

Adresse pour le téléchargement des fiches BF « Coefficients Psi des fenêtres » et « Coefficients Psi des profilés de façade » en vigueur : <http://www.bundesverband-flachglas.de/downloads/datenblaetter/>

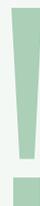
CONSEIL : ne travaillez pas avec des copies locales des fiches BF, enregistrez plutôt le lien de la page de téléchargement parmi les favoris de votre navigateur web. Vous pouvez ainsi accéder toujours rapidement aux fiches BF actuellement en vigueur et être sûr de travailler avec les versions autorisées.

3.3 Domaine d'application autorisé

Les coefficients Psi représentatifs des fiches BF **ne** peuvent **pas** être appliqués à toutes les fenêtres et constructions de façades sans restriction. Le domaine d'application autorisé est réglementé par les directives ift WA-08/3 pour les fenêtres et WA-22/1 pour les profilés de façade.

Les conditions à respecter dans chaque cas sont expliquées dans les prochains chapitres.

Les tolérances indiquées sur les fiches BF « Coefficients Psi des fenêtres » ne doivent être en aucun cas retranchées avant d'utiliser les coefficients Psi représentatifs.



4.0 Fiches BF « Coefficients Psi des fenêtres »

4.1 Conception

Une fiche BF est valable pour un système d'intercalaire spécifique. Outre les informations relatives au fabricant, aux matériaux et à la géométrie du système d'intercalaire, les coefficients Psi représentatifs des fenêtres sont déclarés au centre de la fiche BF. Huit coefficients Psi sont ainsi indiqués dans quatre profilés de cadre de fenêtre représentatifs (métal avec séparation thermique, plastique, bois, bois/aluminium) pour le double vitrage isolant mais aussi pour le triple vitrage isolant. Les valeurs du modèle Two Box mentionnées précédemment figurent en bas de page de la fiche BF (cf. fig. 8).

Les fiches BF « Coefficients Psi des fenêtres » ne doivent PAS être utilisées pour les vitrages fixes dans des façades montants-traverses. Il faut, dans ce cas, se référer uniquement aux fiches BF « Coefficients Psi des profilés de façade » (cf. chapitre 5).

Month 20XX – No. WX – Revision index X-0X/20XX

'WARM EDGE' WORKING PARTY

Data sheet Psi values for windows

based on determination of the equivalent thermal conductivity of spacers by measurement

	Product name	Space height in mm	Material	Thickness d in mm
Cross-section	Product	X	Stainless steel	X

	Representative glass constructions	Metal with thermal break	Plastic	Wood	Wood/Metal
Representative frame profile					
Representative psi values of double sheet thermally insulating glass W/mK	<p style="font-size: small;">Double-sheet insulating glass $U_g=1.1$ W/m²K</p>	0.0XX	0.0XX	0.0XX	0.0XX
Representative psi values of triple sheet thermally insulating glass W/mK	<p style="font-size: small;">Triple-sheet insulating glass $U_g=0.7$ W/m²K</p>	0.0XX	0.0XX	0.0XX	0.0XX

	Space between panes in mm	$\lambda_{eq,2B}$ in W/mK	
Two Box model Characteristic values	Can be used for all spacer widths	Box 1 · $h_1 = X$ mm	Box 2 · $h_2 = X$ mm
		0.XX	0.XX

Explanations

The equivalent thermal conductivity has been determined in accordance with the ift guideline WA-17 eng/1 "Thermally improved spacers – Determination of the equivalent thermal conductivity by measurement". The representative linear heat transfer coefficients calculated in this way (representative psi values) apply to typical frame profiles and glazing for the determination of the heat transfer coefficient U_w of windows. They have been determined under the boundary conditions (frame profiles, glazing, glass mounting depth, back covering, primary and secondary sealant) defined in the ift guideline WA-08 eng/3 "Thermally improved spacers – Part 1: Determination of the representative Psi value for window frame profiles". This guideline also governs the area of validity and application of the representative psi values. In order to avoid rounding errors, the psi values in the data sheet have been given at 0.001 W/mK. The method for the arithmetical determination of the psi values has an accuracy of ± 0.003 W/mK. Differences of less than 0.005 W/mK are not significant. For further information, refer to the Bulletin 004/2008 "Guide to Warm Edge" of Bundesverband Flachglas.

Characteristic values determined by:

Fig. 8 : conception des fiches BF « Coefficients Psi des fenêtres »

Guide « warm edge »

4.2 Coefficients U_w des fenêtres

Selon EN ISO 10077-1, le coefficient de transmission thermique U_w d'une fenêtre se calcule à partir des coefficients surfaciques du vitrage U_g et du cadre U_f ainsi que du coefficient de transmission thermique linéique Ψ_g pour la zone de transition entre le cadre et le verre (fig. 9 et 10). Le coefficient de transmission thermique U_g du verre se réfère au centre sans entrave du verre tandis que le coefficient U_f du cadre se réfère au cadre sans vitrage [1].

Là où verre et cadre se côtoient, se crée un pont thermique dû à la géométrie et au matériau. Le coefficient Ψ_g décrit les déperditions thermiques supplémentaires dans cette zone. Celles-ci sont principalement causées par la conduction thermique via le joint périphérique du vitrage isolant.

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \Psi_g}{A_w}$$

Fig. 9 : formule pour le calcul du coefficient de transmission thermique U_w des fenêtres [1]

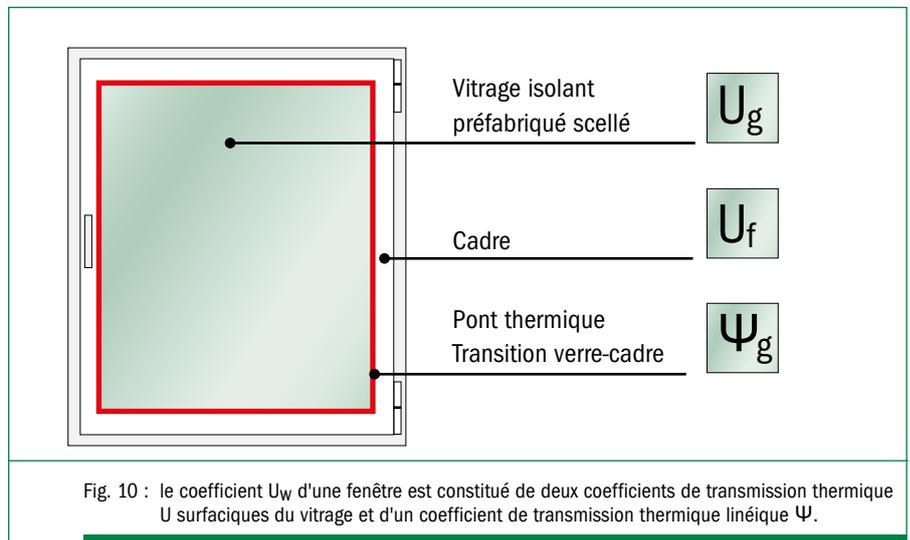
Les coefficients Psi représentatifs facilitent la détermination du coefficient U_w des fenêtres.

Indice	Nom anglais	Nom français
w	window	fenêtre
g	glass	verre
f	frame	cadre

Tableau 2 : indices pour les composants des fenêtres

	Unité	Désignation	Origine
U_g	W/(m ² K)	Coefficient de transmission thermique du vitrage	(1) calculé selon EN 673
U_f	W/(m ² K)	Coefficient de transmission thermique du cadre	(1) calculé selon EN ISO 10077-2 ou (2) provenant de l'annexe D de la norme EN ISO 10077-1 ou (3) mesuré selon EN 12412-2
Ψ_g	W/(m ² K)	Coefficient linéique de transmission thermique de la zone de transition cadre verre	(1) calculé selon EN ISO 10077-2 ou (2) provenant des tableaux de l'annexe E de la norme EN ISO 10077-1 ou (3) Coefficients Ψ représentatifs des intercalaires aux caractéristiques thermiques améliorées calculés conformément à la directive ift WA-08/3 [4] fiches « Coefficients Psi des fenêtres »

Tableau 3 : méthodes pour déterminer les données initiales pour le coefficient U_w des fenêtres



Il existe plusieurs méthodes pour obtenir les données initiales servant à calculer le coefficient U_w (tableau 3). Dans la limite de leur champ d'application, les fiches « Coefficients Psi des fenêtres » offrent une solution relativement simple et pragmatique pour connaître les coefficients Ψ_g . Elles sont plus précises et, en tous les cas, plus avantageuses que les valeurs forfaitaires provenant de l'annexe E de la norme EN ISO 10077-1. En effet, les valeurs des tableaux de cette norme ne font pas la distinction entre les systèmes à bords chauds de différente efficacité et donnent donc des résultats médiocres [1].

Une autre possibilité consiste à mesurer l'ensemble de la fenêtre avec la méthode de l'étuve conformément à la norme EN ISO 12567-1.

La norme EN ISO 10077-2 autorise explicitement dans son annexe C que des coefficients Ψ représentatifs d'intercalaires aux caractéristiques thermiques améliorées puissent être déterminés sur la base de sections de profilés représentatives et d'unités en verre représentatives [2]. La méthode employée pour y

parvenir est décrite dans les directives ift WA-08/3 et WA-17/1 [4, 5]. La directive WA-08/3 réglemente, par ailleurs, l'utilisation des coefficients Ψ représentatifs lors de la détermination des coefficients U_w .

4.3 Application des coefficients Psi représentatifs des fenêtres

Lors de la déclaration du coefficient U_w de leurs fenêtres, les constructeurs de fenêtres doivent, conformément à la directive ift WA-08/3, respecter les consignes suivantes pour utiliser les fiches « Coefficients Psi des fenêtres » [4] :

- Les coefficients représentatifs Ψ calculés peuvent être utilisés pour les coefficients U_g suivants :
Double vitrage isolant : $U_g \geq 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ avec argon ou rempli d'air
Triple vitrage isolant : $U_g \geq 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ avec argon ou rempli d'air.
- La prise en feuillure réelle doit mesurer au moins 13 mm.
- Les coefficients représentatifs Ψ ne doivent pas être utilisés pour les bords de verre nus côté extérieur.

- Si l'épaisseur des vitres est supérieure à 4 mm, les coefficients représentatifs Ψ sont majorés des valeurs suivantes :
 - de $0,001 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ par mm d'épaisseur en plus pour la vitre extérieure ;
 - de $0,002 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ par mm d'épaisseur en plus pour la vitre intérieure ;
 L'épaisseur du verre médian sur les triples vitrages n'a pas d'incidence.
- Les profilés de cadre réellement utilisés doivent être comparables aux profilés de cadre représentatifs. Les coefficients U_f et les prises en feuillure des profilés de cadre réels doivent satisfaire les exigences du tableau 4.

Pour les fenêtres qui ne respectent pas les consignes mentionnées ci-dessus, le coefficient individuel Ψ de chaque combinaison verre-cadre doit être calculé de manière détaillée conformément à la norme EN ISO 10077-2 [2]. Une autre possibilité consiste à utiliser les coefficients désavantageux des tableaux provenant de la norme EN ISO 10077-1 [1].

Matériau du cadre	U_f en $\text{W/(m}^2\text{K)}$	Prise en feuillure en mm
Bois	$\geq 1,0$ $\geq 0,80$	≥ 13 ≥ 18
Bois-aluminium	$\geq 1,0$ $\geq 0,80$	≥ 13 ≥ 18
Plastique	$\geq 1,0$ $\geq 0,80$	≥ 13 ≥ 18
Métal	$\geq 1,3$ $\geq 1,0$	≥ 13 ≥ 18

Tableau 4 : valeurs de consigne relatives au cadre pour l'utilisation des coefficients représentatifs Ψ des fenêtres.

Guide « warm edge »

5.0 Fiches BF « Coefficients Psi des profilés de façade »

5.1 Conception

La présentation des fiches BF pour les profilés de façade est semblable à celle des fiches BF « Coefficients Psi des fenêtres ». Au centre sont indiqués six coefficients Psi représentatifs pour les trois profilés de façade représentatifs (bois-métal, métal avec séparation thermique pour deux profondeurs de profilés) répartis entre double et triple vitrage isolant. Il s'agit des coefficients Psi pour le pont thermique au bord des vitrages fixes dans les profilés de montants et de traverses Ψ_{mg} et Ψ_{tg} (cf. chapitre 5.2).

Les fiches BF « Coefficients Psi des profilés de façade » peuvent être utilisées, dans les limites du domaine d'application autorisé selon la directive ift WA-22/1, pour les vitrages fixes dans les façades montants-traverses mais PAS pour les systèmes en verre structural (SSG – Structural Sealant Glazing).

Month 20XX – No. CWX – Revision index X-0X/20XX

'WARM EDGE' WORKING PARTY

Data sheet Psi values for facade profiles

based on determination of the equivalent thermal conductivity of spacers by measurement

	Product name	Spacer height in mm	Material	Thickness d in mm
Cross-section	X	X	X	X

	Representative glass constructions	Wood/metal	Metal with thermal break (d ₁ = 100 mm)	Metal with thermal break (d ₁ = 200 mm)
Representative facade profiles				
Representative psi value double-sheet thermal insulating glass W/mK	0.0XX	0.0XX	0.0XX	0.0XX
Representative psi value triple-sheet thermal insulating glass W/mK	0.0XX	0.0XX	0.0XX	0.0XX

	Space between panes in mm	λ _{eq,25} in W/mK	
Two Box model Characteristic values	Can be used for all spacer widths	Box 1 · h ₁ = X mm	Box 2 · h ₂ = X mm
		0.XX	0.XX

Explanations

The equivalent thermal conductivity has been determined in accordance with ift guideline WA-17eng/1 "Thermally improved spacers – Determination of the equivalent thermal conductivity by measurement". The representative linear heat transfer coefficients (representative psi values) determined thereby apply to typical facade profiles and glazing for determination of the coefficients of thermal conductivity U_{cw} of curtain walls. They have been determined under the framework conditions (frame profiles, glazing, glass mounting depth, back covering, primary and secondary sealant) defined in ift guideline WA-22eng/1 "Thermally improved spacers – Part 3: Determination of the representative psi value for facade profiles". This guideline also governs the area of validity and application of the representative psi values. In order to avoid rounding errors, the psi values in the data sheet have been specified to the nearest 0.001 W/mK. The calculation method for determining the psi values has an accuracy of ± 0.003 W/mK. Differences of less than 0.005 W/mK are not significant. Further information can be found in the bulletin 004/2008 "Guide to Warm Edge" published by Bundesverband Flachglas.

Characteristic values determined by:

Fig. 11 : conception des fiches BF « Coefficients Psi des profilés de façade »

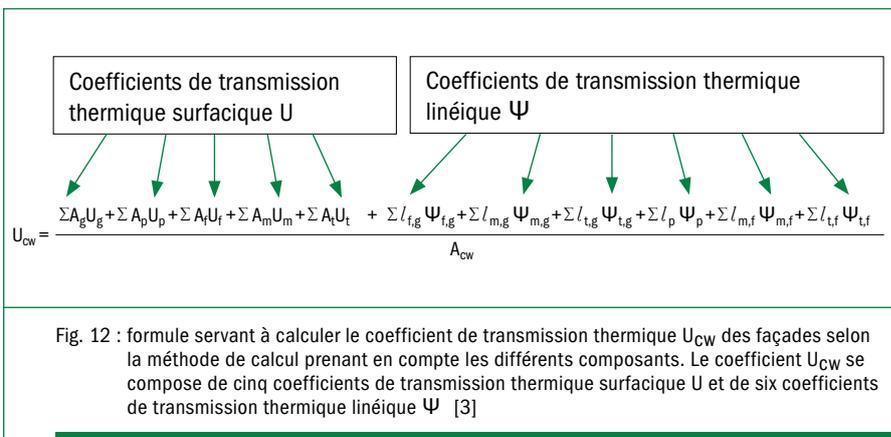
5.2 Coefficients U_{CW} pour les façades montants-traverses

Le coefficient de transmission thermique U_{CW} des façades-rideaux est déterminé conformément à la norme EN ISO 12631 [3]. Il est possible de monter des vitrages fixes, des fenêtres ou des panneaux dans les façades montants-traverses (fig. 13).

Dans la zone de transition entre les surfaces pleines des façades et les surfaces constituées par les montants et traverses se forment des ponts thermiques très différents qui doivent être pris en compte lors du calcul du coefficient U_{CW} .

Comme pour la fenêtre, il existe aussi pour les façades différentes méthodes pour obtenir les données initiales. Nous ne nous appesantirons pas ici sur ces méthodes en raison de la multitude de composants existants. Pour le montage de vitrages dans des façades montants-traverses, les fiches « Coefficients Psi des façades » proposent, dans les limites de leur champ d'application, une solution relativement simple et pragmatique pour déterminer les coefficients Psi Ψ_{mg} et Ψ_{tg} . Elles sont plus précises et généralement plus avantageuses que les valeurs forfaitaires provenant de l'annexe B de la norme EN ISO 12631 [3].

D'autres possibilités consistent à calculer de manière détaillée selon EN ISO 10077-2 tous les ponts thermiques, c'est ce qu'on appelle la « Méthode de calcul prenant en compte les différents composants », ou à appliquer la « Méthode de calcul simplifiée » selon EN ISO 12631.



Indice	Nom anglais	Nom français
cw	curtain walling	façade
m	mullion	montant
t	transom	traverse
f	frame	cadre
p	panel	panneau
g	glass	verre

Tableau 5 : indices pour les composants d'un élément de façade

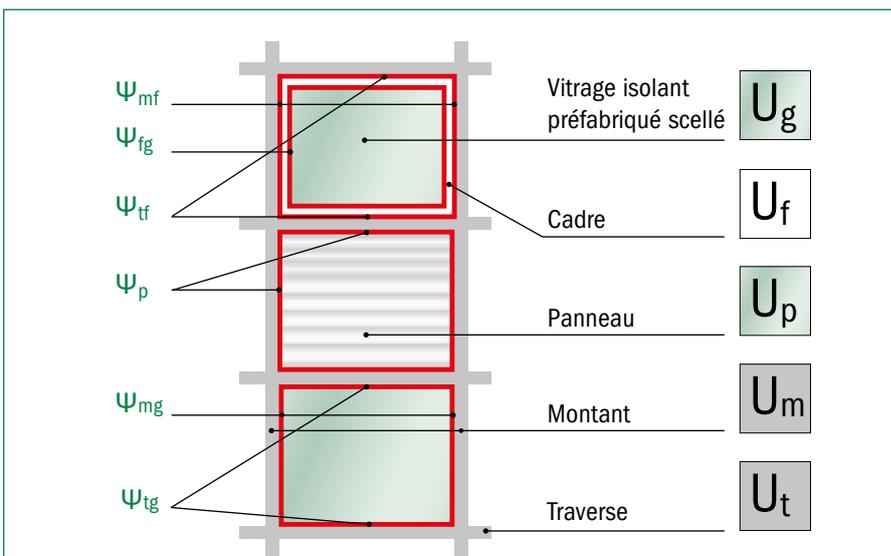


Fig. 13 : échantillon d'élément de façade selon EN ISO 12631 [3]

Guide « warm edge »

5.3 Application des coefficients Psi représentatifs des profilés de façade

Selon la directive ift WA-22/1 [6], les constructeurs de façades doivent respecter les consignes suivantes pour pouvoir utiliser les fiches BF « Coefficients Psi des profilés de façade » lors de la déclaration du fabricant sur le coefficient U_{CW} :

- Les coefficients Ψ représentatifs calculés peuvent être utilisés pour les coefficients U_g suivants :
Double vitrage isolant : $U_g \geq 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ avec argon ou rempli d'air
Triple vitrage isolant : $U_g \geq 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ avec argon ou rempli d'air
- La prise en feu réelle doit mesurer au moins 13 mm.
- Les coefficients Psi représentatifs **ne** doivent **pas** être utilisés pour les bords de verre nus côté extérieur et pour les systèmes en verre structurel (SSG – Structural Sealant Glazing).
- Si l'épaisseur des vitres est supérieure à 6 mm, les coefficients représentatifs Ψ sont majorés des valeurs indiquées au tableau 6. L'épaisseur du verre médian sur les triples vitrages n'a pas d'incidence. Si les épaisseurs de verre sont inférieures à 6 mm, le constructeur est alors autorisé à retrancher des coefficients Psi représentatifs les valeurs de correction présentées dans le tableau 6.
- Les profilés de façade réellement utilisés doivent être comparables aux profilés représentatifs des fiches BF « Coefficients Psi des profilés de façade ». Les coefficients U_m et U_t des profilés de façade réels doivent (incidence des vis incl.) satisfaire aux exigences du tableau 7.

Matériau	$\Delta\Psi$ en $\text{W}/(\text{mK})$ par mm d'épaisseur de la	
	vitre extérieure	vitre intérieure
Bois-métal	0,001	0,001
Métal avec séparation thermique	0,001	0,000

Tableau 6 : valeurs de correction prenant en compte l'incidence de l'épaisseur de verre pour les façades

Matériau	U_m ou U_t en $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Bois-métal	pour double vitrage isolant : $\geq 1,3$ pour triple vitrage isolant : $\geq 0,9$
Métal avec séparation thermique	pour double vitrage isolant : $\geq 1,3$ pour triple vitrage isolant : $\geq 0,9$

Tableau 7 : valeurs de consigne relatives au profilé de façade pour l'utilisation des coefficients représentatifs Ψ des profilés de façade

6.0 Le groupe de travail « warm edge »

6.1 Les membres du groupe

Le groupe de travail « warm edge » est une sous-division de la commission technique de la Fédération des fabricants de verre plat (Bundesverband Flachglas). Les personnes participant à ce groupe de travail sont membres et membres bienfaiteurs du BF. L'encadrement scientifique du groupe de travail est assuré par le Prof. Dr. Franz Feldmeier de l'université de Rosenheim et par Norbert Sack de l'ift Rosenheim.



Hochschule **Rosenheim**
University of Applied Sciences



Tous les constructeurs de pointe des systèmes de vitrage isolant à bords chauds et l'industrie du verre sont représentés dans le groupe de travail.



Allmetal GmbH Intercalaires pour vitrage isolant, Wiedemar, D



BAUWERK – Bureau d'études pour la physique du bâtiment et les techniques de fenêtres, Rosenheim, D



Ensinger GmbH succursale Ravensburg, Ravensburg, D



FENZI S.p.A., Tribiano, I



GED Integrated Solutions, Chichester, GB



Glas Trösch Holding AG, Bützberg, CH



HELIMA GmbH, Wuppertal, D



IGK Isolierglasklebstoffe GmbH, Hasselroth, D



Ingrid Meyer-Quel
Büro für warme Kanten und Glas
Bureau de conseils pour les bords chauds et le verre, D



Isolar Glas-Beratung GmbH, Kirchberg/Hunsrück, D



Kömmerling Chemische Fabrik GmbH, Pirmasens, D



Nedex Chemie Deutschland GmbH, Moers, D



Quanex Building Products Inc. Edgetech Europe GmbH, Heinsberg, D



Rolltech A/S, Hjørring, DK



Alu-Pro S.r.l., Noale, IT



SANCO Beratung Glas Trösch GmbH, Nördlingen, D



Technoform Glass Insulation GmbH, Lohfelden, D



Thermoseal Group Limited, Birmingham, GB



Vetrotech Saint Gobain (International) AG Swisspacer Kreuzlingen, CH

Liste des membres datant de : mai 2016

6.2 Résultats des travaux menés

jusqu'ici

Le groupe de travail « warm edge » existe depuis 1998. Il compte à son actif une multitude de résultats remarquables.

En juillet 1999 a été présenté le rapport final de l'ift Rosenheim venant conclure le premier projet de recherche Warm Edge [7]. Des systèmes intercalaires y sont tout d'abord comparés à des calculs dans des conditions identiques. Les résultats servent de base aux tableaux de coefficients Psi personnalisés des constructeurs de systèmes.

Au cours du deuxième projet de recherche de 2002 à 2003 pour l'Institut allemand de la technique de la construction (Deutsches Institut für Bautechnik – DIBT), les principales influences sur les coefficients Psi dans différents modèles de cadre selon EN ISO 10077-2 furent calculées et comparées aux résultats expérimentaux. En tout, 6 instituts de contrôle et centres de calcul ainsi que 8 partenaires industriels participèrent à ce projet [8].

Pour protéger le secteur et les consommateurs contre les produits qui ne font que simuler une amélioration thermique du joint périphérique du vitrage isolant, a été élaborée au sein du groupe de travail une définition du joint périphérique aux caractéristiques thermiques améliorées.

Cette définition a été reprise tout d'abord dans la norme DIN V 4108-4:2004-07, annexe C, avant d'être rapidement accueillie dans les normes européennes (cf. EN ISO 10077-1, annexe E et EN ISO 12631, annexe B [1, 3]).

Les modèles de cadre des premiers projets de recherche paraissant désuets, quatre nouveaux modèles de cadre ont tout d'abord été élaborés de 2007 à 2008 au cours d'un troisième projet de recherche. Ces modèles représentatifs de leur catégorie possédaient des coefficients U_f à la pointe de la technique. Puis, les coefficients représentatifs Ψ des différents systèmes à bords chauds de ces modèles de cadre avec double et triple vitrage isolant ont été calculés et publiés sous la forme des fiches BF « Coefficients Psi des fenêtres ». Ce projet a été présenté à l'ensemble du secteur à l'occasion du colloque BF « warm edge » le 23/04/2008 à Hanau.

Au printemps 2013, un autre projet de recherche du groupe de travail « warm edge », soutenu par l'Institut allemand de la technique de la construction (Deutsches Institut für Bautechnik - DIBT), a été mené à l'ift Rosenheim et à l'université de Rosenheim. Les résultats du quatrième projet aboutirent à la nouvelle méthode de calcul décrite au chapitre 3 et utilisée pour les fiches BF « Coefficients Psi des fenêtres » [9, 10].

Fin 2013, le groupe de travail « warm edge » décida de participer au financement d'un projet visant à élargir le champ d'application des coefficients Psi des fenêtres à des coefficients U_f plus faibles. Ce cinquième projet du groupe de travail fut suivi par la révision de la directive ift WA-08 qui autorise depuis la version 3 l'utilisation des coefficients Psi représentatifs avec une prise en feuillure plus haute même pour les cadres de fenêtre ultra-isolants (cf. chapitre 4.3, tableau 4).

Les fiches BF « Coefficients Psi des profils de façade » reposent sur le sixième projet de recherche que le groupe de travail a lancé en janvier 2014.

6.3 Perspectives

Le groupe de travail continue à se consacrer à l'élaboration de méthodes applicables pour l'analyse et la prise en compte du potentiel d'amélioration thermique qu'offrent les bords chauds. Grâce aux critères de qualité créés pour les coefficients Psi représentatifs, il compte promouvoir le sujet « warm edge » et lui conférer une image de sérieux et de fiabilité sur le marché. Ces efforts sont soutenus par une campagne de communication et des actions de marketing.

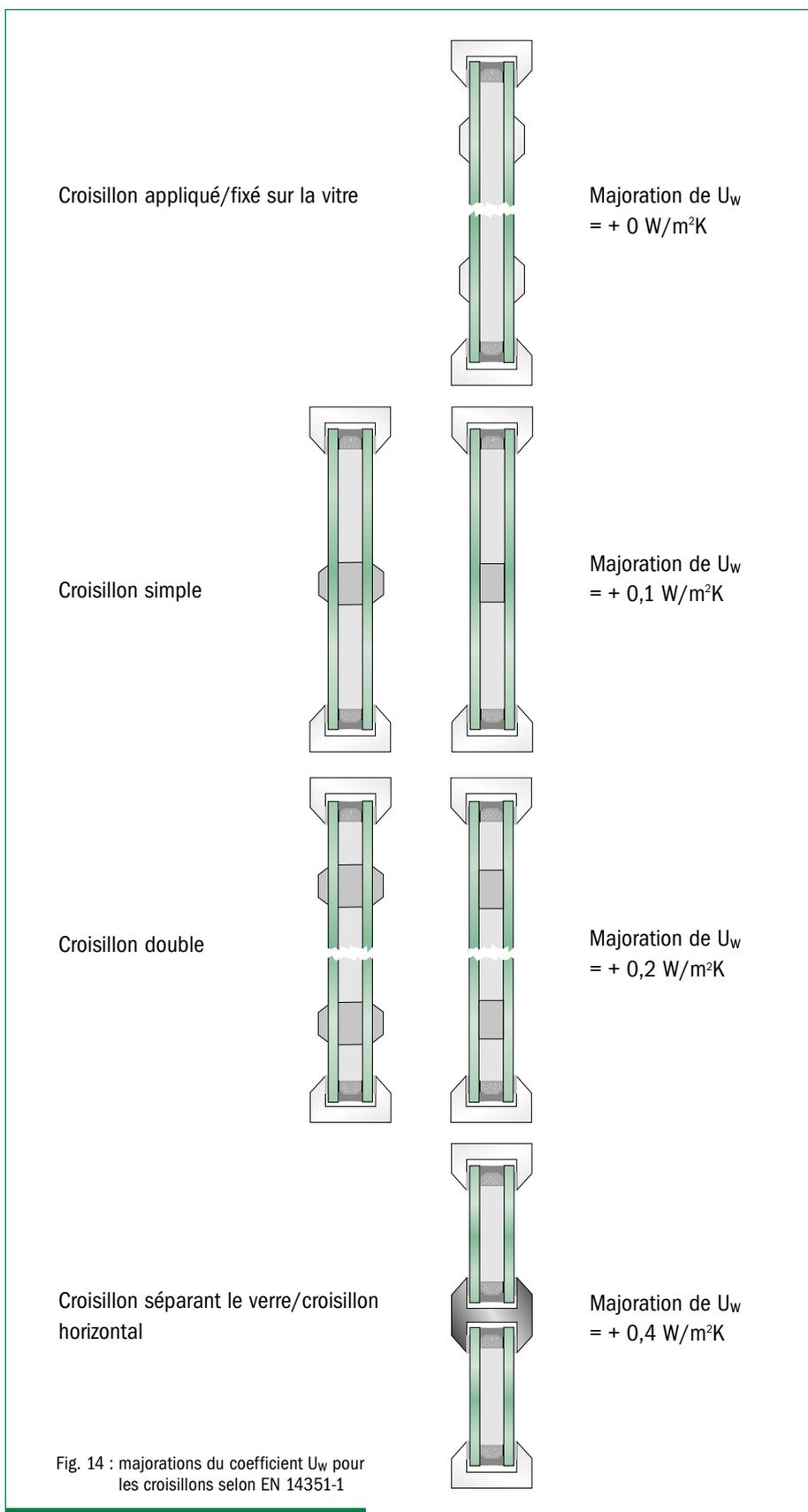
7.0 Traitement thermique des fenêtres à croisillons

7.1 Majorations forfaitaires pour les croisillons selon EN 14351-1

Outre l'intercalaire dans l'espace intermédiaire, d'autres constructions intégrées à l'espace intermédiaire des doubles ou triples vitrages isolants peuvent conduire à l'apparition de ponts thermiques. Les croisillons constituent ainsi des zones de perturbation thermique qui doivent être prises en compte lors du calcul du coefficient U_w des fenêtres. Des majorations pour les fenêtres à croisillons (fig. 14) sont prescrites dans l'annexe J de la norme de produit pour les fenêtres (EN 14351-1).

Qu'il s'agisse de croisillons fictifs qui sont recouverts à l'extérieur par une baguette de finition ou de croisillons décoratifs intégrés à l'espace intermédiaire qui restent visibles en vue de dessus, aucune distinction n'est faite entre les types de croisillons. On ne différencie pas non plus les croisillons conventionnels en aluminium des croisillons en plastique aux caractéristiques thermiques améliorées. Le fait que des croisillons se trouvent dans les deux espaces intermédiaires d'un triple vitrage isolant ou dans un seul n'est pas non plus pris en compte pour le calcul des majorations.

Ces majorations du coefficient U_w sont certes simples à utiliser, mais souvent incorrectes dans de nombreux cas de fenêtres à croisillons.



Guide « warm edge »

7.2 Le projet de recherche du groupe du BF dédié aux croisillons

Un calcul détaillé selon EN ISO 10077-2 et la détermination des coefficients de transmission thermique linéique des croisillons (coefficients Psi des croisillons) permettent dans la plupart des cas d'obtenir des coefficients U_w plus avantageux qu'en utilisant les majorations forfaitaires. Toutefois, cette procédure demande un travail considérable étant donné qu'il existe beaucoup plus de variantes de croisillons que de variantes de systèmes intercalaires.

C'est pourquoi le groupe du BF dédié aux croisillons a lancé et financé un projet de recherche à l'ift Rosenheim afin d'étudier les caractéristiques techniques des croisillons. L'objectif était de déterminer des coefficients Psi forfaitaires valables pour différents types de croisillons en calculant des coefficients de transmission thermique linéique Ψ_{gb} et de présenter les résultats sous forme de tableaux à intégrer à la norme EN ISO 10077.

En septembre 2015 est paru le rapport final « Élaboration de tableaux simplifiés pour prendre en compte l'incidence des croisillons dans le cadre du calcul du coefficient U des fenêtres ». Les grandeurs influant sur les coefficients Psi des croisillons ont été analysées à partir d'exemples de calculs (fig. 15 et fig. 8).

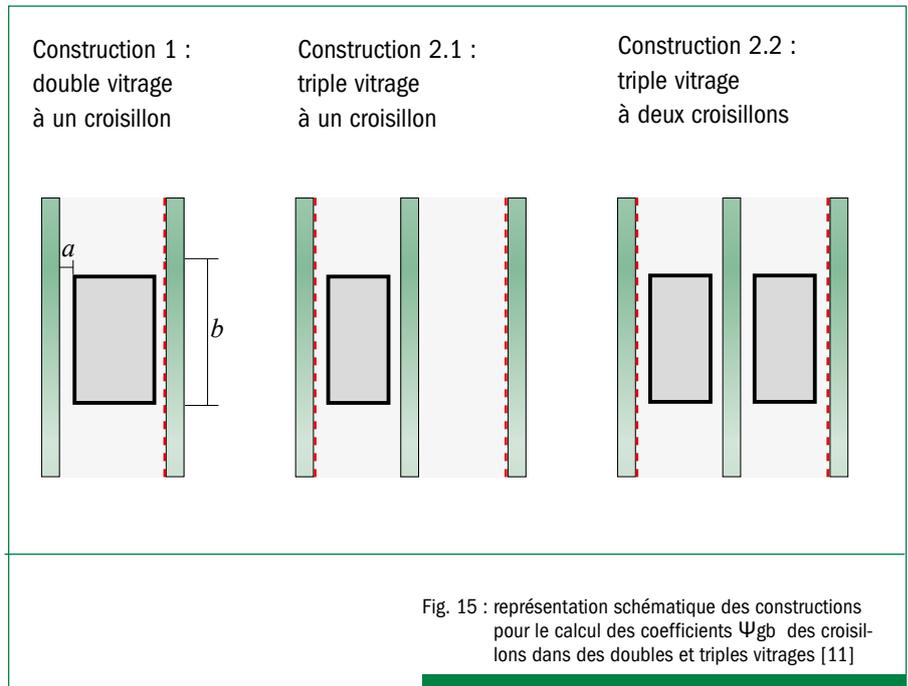


Fig. 15 : représentation schématique des constructions pour le calcul des coefficients Ψ_{gb} des croisillons dans des doubles et triples vitrages [11]

Valeur influente	Importance
Revêtement (émissivité) des vitres	Le revêtement influence les coefficients Ψ_{gb}
Conductivité thermique du matériau du croisillon	Intérêt de classer en deux groupes de matériaux (aluminium ou plastique)
Écart a des deux côtés, entre les croisillons et le verre	Plus a est élevé, plus le coefficient Ψ_{gb} est faible
Largeur b du croisillon	Les coefficients Ψ_{gb} augmentent à mesure que la largeur de croisillon croît
Pour le triple vitrage : croisillons dans un ou deux espaces intermédiaires*)	Influence de taille
Épaisseur des croisillons	Influence minimale

Tableau 8 : valeurs influentes pour les coefficients Psi des croisillons et leur importance

*) Remarque :

Le BF recommande, pour les triples vitrages, de ne monter les croisillons que dans un des espaces intermédiaires. Cela est préférable aussi bien pour des raisons thermiques qu'esthétiques.

7.3 Tableaux avec coefficients Psi forfaitaires pour les croisillons

Comme pour le pont thermique au bord du verre, le coefficient Psi forfaitaire pour les croisillons Ψ_{gb} ($gb = \text{glazing bar}$) est multiplié par la longueur totale des croisillons montés et ajouté au coefficient U_w .

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \Psi_g + l_{gb} \cdot \Psi_{gb}}{A_w}$$

Fig. 16 : formule pour le calcul du coefficient de transmission thermique U_w des fenêtres à croisillons

Le projet de recherche [11] a abouti à l'élaboration de deux tableaux (cf. tableaux 9 et 10) contenant des coefficients Psi forfaitaires pour les croisillons qui ont été proposés comme compléments de la norme EN ISO 10077-1 et qui sont valables pour le champ d'application suivant :

- Pour les croisillons (profilés avec espace vide) en métal ou plastique
- Largeur de croisillon $b \leq 30 \text{ mm}$ (cf. fig. 15)
- Largeur $a \geq 2 \text{ mm}$ et $a \geq 4 \text{ mm}$ (cf. fig. 15)

Il est très probable que ces tableaux soient intégrés dans la prochaine édition de la norme EN ISO 10077-1. C'est pourquoi le BF se réfère au projet de recherche et préconise d'utiliser dès aujourd'hui les coefficients Psi forfaitaires pour les croisillons indiqués dans les tableaux 9 et 10.

Vitrage	Écart a en mm	Coefficient Ψ en W/(mK)	
		Vitrage sans revêtement low e	Vitrage avec revêtement low e
double	≥ 2	0,03	0,07
	≥ 4	0,01	0,04
triple avec croisillon dans un des espaces intermédiaires	≥ 2	-/-	0,03
	≥ 4	-/-	0,01
triple avec croisillon dans les deux espaces intermédiaires	≥ 2	-/-	0,05
	≥ 4	-/-	0,02

Tableau 9 : valeurs du coefficient de transmission thermique linéique Ψ_{gb} pour les croisillons en métal ($\lambda \leq 160 \text{ W/(mK)}$) dans l'espace intermédiaire.

Vitrage	Écart a en mm	Coefficient Ψ en W/(mK)	
		Vitrage sans revêtement low e	Vitrage avec revêtement low e
double	≥ 2	0,00	0,04
	≥ 4	0,00	0,02
triple avec croisillon dans un des espaces intermédiaires	≥ 2	-/-	0,02
	≥ 4	-/-	0,01
triple avec croisillon dans les deux espaces intermédiaires	≥ 2	-/-	0,03
	≥ 4	-/-	0,02

Tableau 10 : valeurs du coefficient de transmission thermique linéique Ψ_{gb} pour les croisillons en plastique ($\lambda \leq 0,30 \text{ W/(mK)}$) dans l'espace intermédiaire

8.0 Bibliographie

- [1] EN ISO 10077-1:2009
Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – partie 1 : généralités) Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [2] EN ISO 10077-2:2012
Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – partie 2 : méthode numérique pour les encadrements) Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [3] EN ISO 12631:2012
Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (Performance technique des façades-rideaux – Calcul du coefficient de transmission thermique) Berlin, Beuth Verlag GmbH
- [4] Directive ift WA-08/3
Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter (Intercalaire aux caractéristiques thermiques améliorées – partie 1 : calcul du coefficient représentatif Ψ pour les profilés de cadre de fenêtre)
Rosenheim, ift Rosenheim, février 2015
- [5] Directive ift WA-17/1
Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter (Intercalaire aux caractéristiques thermiques améliorées – partie 2 : détermination de la conductibilité thermique équivalente par mesure)
Rosenheim, ift Rosenheim, février 2013
- [6] Directive ift WA-22/1
Wärmetechnisch verbesserte Abstandhalter (Intercalaire aux caractéristiques thermiques améliorées – partie 3 : détermination du coefficient représentatif Ψ pour les profilés de façade)
Rosenheim, ift Rosenheim, janvier 2016
- [7] Abschlussbericht ‚Forschungsvorhaben Warm Edge‘ (Rapport final Projet de recherche «warm edge»)
Rosenheim, ift Rosenheim, juillet 1999
- [8] Forschungsvorhaben ‚Psi-Wert Fenster - Qualitätskriterien für die Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_g (Psi-Wert) des Übergangs Rahmen-Glasrand-Glas und Vergleich mit experimentellen Daten‘ (Projet de recherche « Coefficients Psi des fenêtres – critères de qualité pour le calcul du coefficient de transmission thermique linéique g (coefficient Psi) de la transition cadre-bord-verre et comparaison aux données expérimentales) Berlin, Deutsches Institut für Bautechnik, avril 2003, Fraunhofer IRB Verlag, 2003, ISBN 3-8167-6526-2
- [9] Kurzbericht ‚Äquivalente Wärmeleitfähigkeit Warme Kante‘ (Rapport abrégé Conductibilité thermique équivalente warm edge)
Rosenheim, ift Rosenheim, décembre 2012
- [10] Abschlussbericht ‚Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit von wärmetechnisch verbesserten Abstandhaltern‘ (Rapport final : Détermination de la conductibilité thermique équivalente des intercalaires aux caractéristiques thermiques améliorées)
Rosenheim, ift Rosenheim, décembre 2012
ISBN 978-3-86791-339-3
- [11] ift-Forschungsbericht ‚Psi-Werte von Sprossen – Erarbeitung von vereinfachten Tabellen zur Berücksichtigung des Einflusses von Sprossen im Rahmen der Ermittlung des U-Wertes von Fenstern‘ (Rapport de recherche : ift Coefficients Psi des croisillons – élaboration de tableaux simplifiés pour prendre en compte l'incidence des croisillons dans le cadre du calcul du coefficient U des fenêtres)
Rosenheim, ift Rosenheim, septembre 2015 (non publié)

Cette fiche technique a été élaborée par : Groupe de travail « warm edge » de la Bundesverband Flachglas e. V. Mülheimer Strasse 1 · D-53840 Troisdorf.

Avec la participation de : Hochschule Rosenheim · ift Rosenheim · Contents rédactionnels créés par : Ingrid Meyer-Quel, Bureau de conseils pour les bords chauds et le verre · www.warmedgeconsultant.com

© **Bundesverband Flachglas e. V.** Le droit de faire une copie vous sera volontiers accordé si vous en faites la demande. En revanche, il est strictement interdit de copier ou de reproduire intégralement ou partiellement ce document sans une autorisation expresse. Aucun droit ne peut découler de la publication.



Bundesverband Flachglas e. V.
Mülheimer Strasse 1
53840 Troisdorf
Allemagne