

REGLES Th-Bât – Fascicule parois vitrées
Publié le 20 décembre 2017

Sommaire

1 Introduction	5	2.6.1 Coefficient de transmission thermique U_c des coffres de volet roulant	37
1.1 Coefficient de transmission thermique U	5	2.6.2 Facteurs de transmission solaire S_c ou S_p des coffres de volet roulant	40
1.2 Facteur de transmission solaire S	5	2.6.3 Facteurs de transmission lumineuse TL_c ou TL_p des coffres de volet roulant	40
1.3 Facteur de transmission lumineuse TL	7	2.7 Portes	41
1.4 Références normatives	8	2.7.1 Coefficient de transmission thermique U_d	41
1.5 Définitions, symboles et indices	10	2.7.2 Facteur de transmission solaire S_d des portes	44
1.5.1 Définitions	10	2.7.3 Facteur de transmission lumineuse TL_d des portes	44
1.5.2 Symboles et indices	13	2.8 Plaque de polycarbonate seule	45
1.6 Facteurs de transmission solaire ou lumineuse : l'apport des règles Th-Bât	19	2.8.1 Coefficient de transmission thermique U_t	45
2 Méthodes de calcul des parois vitrées du bâtiment neuf par procédé	22	2.8.2 Calcul du facteur de transmission solaire S_t	45
2.1 Fenêtres et Portes-fenêtres	22	2.8.3 Calcul du facteur de transmission lumineuse TL_t	45
2.1.1 Coefficient de transmission thermique U_w des fenêtres et portes-fenêtres sans protection	22	2.9 Lanterneaux	46
2.1.2 Coefficient de transmission thermique U_{ws} des fenêtres et portes-fenêtres avec protection	26	2.9.1 Lanterneaux ponctuels sans vitrage isolant additionnel	46
2.1.3 Facteurs de transmission solaire S_w et S_{ws} des fenêtres et portes-fenêtres	27	2.9.2 Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel	52
2.1.4 Facteurs de transmission lumineuse TL_w et TL_{ws} des fenêtres et portes fenêtres	27	2.9.3 Lanterneaux filants sans vitrage isolant additionnel	57
2.2 Fenêtres de toit	28	2.10 Bardages et couvertures en polycarbonate	61
2.2.1 Coefficients de transmission thermique U_w et U_{ws} des fenêtres de toit	28	2.10.1 Facteur de transmission solaire S_w des bardages et des couvertures en polycarbonate	61
2.2.2 Facteurs de transmission solaire S_w et S_{ws} des fenêtres de toit	28	2.11 Parois en briques de verre	62
2.2.3 Facteurs de transmission lumineuse TL_w et TL_{ws} des fenêtres de toit	28	2.11.1 Coefficient de transmission thermique U_w d'une paroi en brique de verre	62
2.3 Fenêtres à galandage	29	2.12 Conduits de lumière	64
2.3.1 Coefficients de transmission thermique U_w et U_{ws} des fenêtres à galandage	29	2.12.1 Coefficient de transmission U_{cl} d'un conduit de lumière	64
2.4 Doubles fenêtres, doubles portes ou doubles portes-fenêtres	34	2.12.2 Facteur de transmission solaire S_w d'un conduit de lumière	68
2.4.1 Coefficients de transmission thermique U_w et U_{ws} des doubles fenêtres, doubles portes ou doubles portes-fenêtres	34	2.12.3 Facteur de transmission lumineuse TL_w d'un conduit de lumière	68
2.5 Blocs-baies	35	2.13 Façades rideaux	70
2.5.1 Coefficient de transmission thermique $U_{bb,w}$ des blocs-baies sans protection	35	2.13.1 Coefficient de transmission thermique U_{cw} des façades rideaux	70
2.5.2 Coefficient de transmission thermique $U_{bb,ws}$ des blocs-baies avec protection	36	2.13.2 Facteurs solaires S_{cw} des façades rideaux	71
2.5.3 Facteurs de transmission solaire $S_{bb,w}$ et $S_{bb,ws}$ des blocs-baies	36	2.13.3 Facteurs de transmission lumineuse TL_{cw} des façades rideaux	72
2.5.4 Facteurs de transmission lumineuse $TL_{bb,w}$ et $TL_{bb,ws}$ des blocs-baies	36	2.14 Facades double peau	75
2.6 Coffres de volet roulant	37	2.14.1 Coefficient de transmission thermique U_{cw} des façades double peau	75
		2.14.2 Calcul des facteurs de transmission solaire S_{cw} et lumineuse TL_{cw} des façades double peau	77
		2.15 Verrières	86

2.15.1 Coefficients de transmission thermique moyen U_{cw} des verrières	86	3 Intégration de la paroi vitrée dans l'ouvrage	115
2.15.2 Facteurs moyens de transmission solaire S_{cw} et lumineuse et TL_{cw} des verrières	89	3.1 Méthode générale de prise en compte du coefficient U_w de la paroi vitrée	115
2.16 Vérandas	95	3.2 Méthode générale de prise en compte du coefficient S_w de la paroi vitrée	115
2.16.1 Coefficient de transmission thermique U_v de la véranda	96	3.2.1 Généralités	116
2.16.2 Facteurs de transmission solaire S_w de la véranda	107	3.2.2 Formules générales	117
2.16.3 Facteurs de transmission lumineuse $TL_{e-sp,i}$ et $TL_{e-ap,i}$ de la véranda	111	3.2.3 Coefficients de correction	123
2.17 Présentation des résultats	114	3.3 Méthode générale de prise en compte du facteur de transmission lumineuse TL_w de la paroi vitrée	134
2.17.1 Règles d'arrondis des valeurs	114	3.3.1 Formules générales	136
2.17.2 Justifications	114	3.3.2 Coefficients de correction	139

1 Introduction

Ce fascicule décrit les méthodes pour la détermination des caractéristiques thermiques, énergétiques et lumineuses utiles des parois vitrées (U, S et TI), équipées ou non de fermetures ou de stores, et de leurs composants dans le cadre d'un calcul réglementaire de consommation d'énergie ou de l'évaluation du confort d'été. Il ne traite pas les parois pariétodynamiques.

Les caractéristiques intrinsèques de la paroi vitrée déterminées suivant ce fascicule servent 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 porte-fenêtres, est celle en tableau.

Ces caractéristiques thermiques peuvent être élaborées suivant des normes produits harmonisées Européenne lorsqu'elles existent ou à défaut être déterminées suivant les méthodes décrites ci-après.

Lorsqu'une caractéristique thermique est déterminable par une norme produit harmonisée (nommée caractéristique déclarée dans la suite du document) celle-ci doit être utilisée comme données d'entrée pour la détermination de la caractéristique thermique utile du composant vitré pour les calculs réglementaires.

Lorsqu'un calcul de consommation énergétique globale ou de confort thermique à l'échelle du bâtiment est requis, les caractéristiques thermiques, énergétiques et lumineuses de la paroi vitrée doivent être déterminées en fonction de ses dimensions et constituants réels (profilés, vitrage, intercalaire, partie opaque éventuelle).

1.1 Coefficient de transmission thermique U

Le coefficient de transmission thermique surfacique utile de la paroi vitrée, déterminé selon ce fascicule, caractérise la capacité de la paroi à transmettre le flux thermique entre les deux milieux qu'elle sépare

Ce coefficient permet de caractériser le procédé de façon intrinsèque. L'impact de son intégration dans l'ouvrage sur la performance thermique est pris en compte de façon séparée par l'intermédiaire du chapitre 3.1.

1.2 Facteur de transmission solaire S

Le facteur solaire global de la paroi vitrée, déterminé selon ce fascicule, caractérise la capacité de la paroi à transmettre le rayonnement solaire entre les deux milieux qu'elle sépare

Ce coefficient permet de caractériser le procédé de façon intrinsèque. L'impact de son intégration dans l'ouvrage est pris en compte de façon séparée par l'intermédiaire du chapitre 3.2.

Le facteur solaire global correspond au rapport entre l'énergie pénétrant par une paroi à l'intérieur du local et l'énergie solaire incidente sur la face extérieure de la paroi :

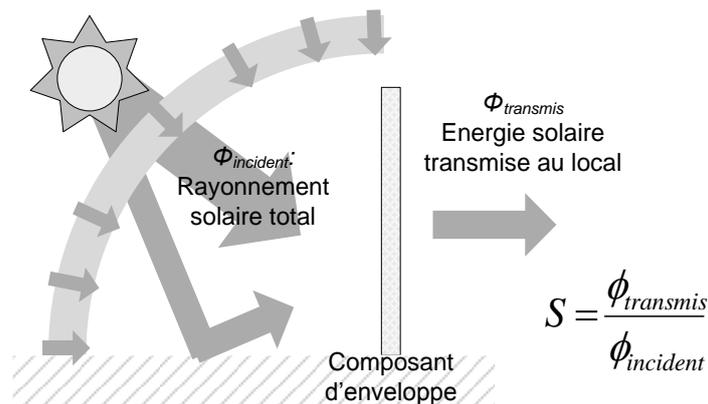


Figure 1 : Notion de facteur de transmission solaire S

L'énergie pénétrant à l'intérieur du local exclut tous les transferts d'énergie dus aux différences de températures entre les ambiances intérieures et extérieures ; elle n'est liée qu'à l'effet du soleil.

Le facteur solaire global d'une paroi vitrée se décompose en trois composantes :

- Une composante courte longueur d'onde, notée « 1 », qui correspond à la partie transmise directement par la paroi vitrée
- Une composante de réémission thermique en grande longueur d'onde, notée « 2 », qui est due à l'échauffement de la face intérieure de la paroi sous l'effet du soleil,
- Une composante de ventilation, notée « 3 », uniquement si la paroi est constituée d'une lame d'air ventilée sur l'intérieur, et qui est donc susceptible de s'échauffer sous l'effet du soleil. C'est typiquement le cas d'une protection solaire intérieure.

La somme des composantes « 1 », « 2 » et « 3 » forme le facteur solaire global de la paroi vitrée.

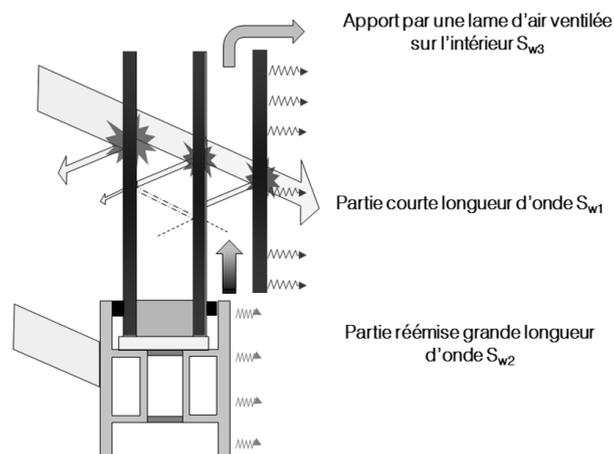


Figure 2 : Composantes 1,2 et 3 du facteur de transmission solaire – cas d'une fenêtre équipée d'une protection solaire intérieure

1.3 Facteur de transmission lumineuse TL

Le facteur de transmission lumineuse de la paroi vitrée, déterminé selon ce fascicule, caractérise la capacité de la paroi à transmettre le rayonnement lumineux entre les deux milieux qu'elle sépare

Ce coefficient permet de caractériser le procédé de façon intrinsèque. L'impact de son intégration dans l'ouvrage est pris en compte de façon séparée par l'intermédiaire du chapitre 3.3.

On appelle facteur de transmission lumineuse le rapport entre le rayonnement transmis par la paroi vitrée et le rayonnement incident dans la gamme de longueur d'onde du visible.

Dans le cas général d'une paroi vitrée, l'énergie lumineuse pénétrant vers l'intérieur se décompose en deux composantes :

- Une composante directe « dir », qui correspond à la partie transmise directement par la paroi vitrée
- Une composante diffuse « diff », qui correspond à la partie transmise sous forme diffuse par la paroi vitrée

La somme des composantes directe et diffuse forme le facteur de transmission lumineuse global de la paroi vitrée.

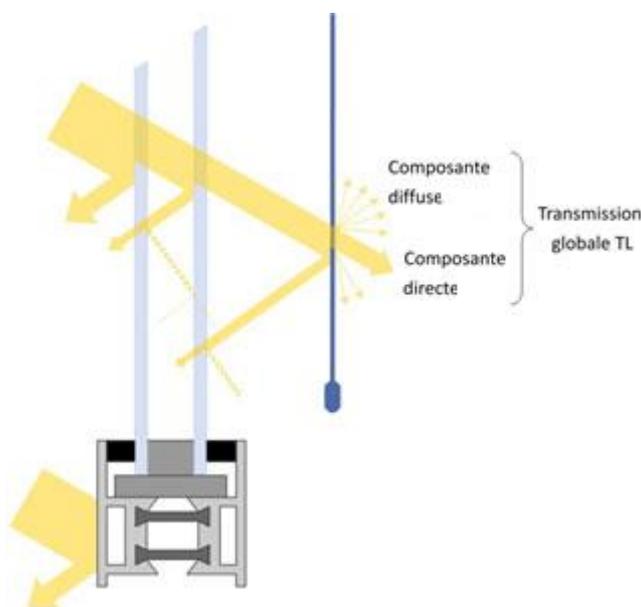


Figure 3 : Décomposition de l'énergie lumineuse – cas d'une fenêtre équipée d'une protection solaire intérieure

1.4 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 673** Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode de calcul.
- NF EN ISO 12631** Performance thermique des façades-rideaux - Calcul du coefficient de transmission thermique.
- 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** Ponts thermiques dans les bâtiments - Flux thermiques et températures superficielles - Calculs détaillés.
- EN 410** Verre dans la construction : détermination des caractéristiques lumineuses et solaires des vitrages.
- ISO 52022-3** Méthode de calcul détaillée des caractéristiques solaires et de lumière du jour pour les dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages.

EN 14500 Fermetures et stores : confort thermique et lumineux, méthode de calcul.

XP P50-77 Détermination du facteur de transmission solaire et lumineuse.

| Normes produits

NF EN 1096 Verre dans la construction - Verre à couche.

NF EN 1279 Verre dans la construction – Vitrage isolant préfabriqué scellé.

NF EN 572 Verre dans la construction - Produits de base : verre de silicate sodocalcique.

NF EN 14351-1 Fenêtres et portes — Norme produit, caractéristiques de performance — Partie 1 : Fenêtres et blocs portes extérieurs pour piétons.

NF EN 14501 Fermetures et stores : confort thermique et lumineux, caractérisation des performances et classification.

NF EN 16153 Plaques d'éclairage multiparois et planes en polycarbonate (PC) pour usage intérieur ou extérieur dans les toitures, bardages et plafonds - Exigences et méthodes d'essai.

NF EN 1873 Accessoires préfabriqués pour couverture - Lanterneaux ponctuels en matière plastique - Spécifications des produits et méthodes d'essais.

NF EN 14963 Éléments de couverture - Lanterneaux continus en matière plastique avec et sans costière - Classification, spécifications et méthodes d'essais.

NF EN 13830 Façades rideaux - Norme de produit.

1.5 Définitions, symboles et indices

1.5.1 Définitions

Dans ce document, les définitions suivantes s'appliquent :

- **Flux thermique Φ en W** : quantité de chaleur transmise à (ou fournie) par un système, divisée par le temps ;
- **Densité surfacique (ou linéique) du flux thermique ϕ , en W/m^2 (ou W/m)** : flux thermique par unité de surface (ou par unité de longueur) ;
- **Conductivité thermique λ , en $W/(m.K)$** : flux thermique par mètre carré, traversant un mètre d'épaisseur de matériau pour une différence de température de un kelvin entre les deux faces de ce matériau ;
- **Coefficient de transmission surfacique U , en $W/(m^2.K)$** : flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système ;
- **Coefficient de transmission linéique ψ , en $W/(m.K)$** : flux thermique en régime stationnaire par unité de longueur, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système ;
- **Résistance thermique R , en $(m^2.K)/W$** : inverse du flux thermique à travers un mètre carré d'un système pour une différence de température de un kelvin entre les deux faces de ce système ;
- **Résistance thermique totale R_T , en $(m^2.K)/W$** : somme de la résistance thermique R d'une paroi et des résistances thermiques superficielles côtés intérieur et extérieur ;
- **Résistance superficielle R_s , en $(m^2.K)/W$** : inverse du flux thermique passant par mètre carré de paroi, de l'ambiance à la paroi pour une différence de température de un kelvin entre celles-ci ;
- **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'ambiance intérieure ou extérieure 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 $2 < l \leq 10$ mm de l'unique interstice à travers lequel elle communique avec l'ambiance intérieure ou extérieure ;
- **Cavité d'air fortement ventilée** : cavité dont la profondeur est inférieure à la largeur $2 < l \leq 10$ mm de l'unique interstice à travers lequel elle communique avec l'ambiance intérieure ou extérieure ou cavité qui communique avec l'ambiance intérieure ou extérieure 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 ;
- **Valeurs tabulées** : valeurs obtenues par application directe des méthodes et valables dans les plages de donnée d'entrée utilisées pour l'application des méthodes,
- **Valeurs par défaut** : valeurs sécuritaires à utiliser comme caractéristique thermique utile pour le bâtiment neuf en absence de valeur déclarée et sans justification particulière,
- **Caractéristique thermique utile** : Caractéristique thermique représentative du comportement thermique des parois, éléments ou composants, qui peut être considérée comme caractéristique de la performance de ce matériau ou de ce produit une fois incorporé dans le bâtiment et ceci durant toute la durée de vie de l'ouvrage. Par conséquent, la caractéristique thermique utile, doit être à la fois représentative de l'ensemble de la production dans l'espace et dans le temps avec la prise en compte dans la mesure du possible, des conditions moyennes d'utilisation rencontrées dans le bâtiment (mise en œuvre, température, humidité, vent, vieillissement, etc...).
- **Caractéristique thermique déclarée** : Caractéristique thermique établie conformément à des spécifications techniques européennes (normes harmonisées ou Documents d'Evaluation Européen) ou bien dans le cadre d'une certification. La caractéristique thermique déclarée peut être différente de la caractéristique thermique utile, notamment si les conventions servant à son élaboration, ne sont pas représentatives de celles rencontrée dans le bâtiment.
- **Baie**¹ : ouverture ménagée dans une paroi extérieure servant pour l'éclairage, le passage ou l'aération. La baie est l'ouverture accueillant la paroi vitrée. Les facteurs de transmission solaire ou lumineux obtenus sont définis au niveau de la baie.
- **Brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées** : dispositif parallèle au plan de la paroi vitrée, constitué de lames fixes inclinées d'un angle compris entre 0° et 90° par rapport au plan de la paroi vitrée.
- **Cadre**² : élément structurel opaque de l'ensemble menuisé.
- **Cas courant** : baie associée à une paroi vitrée entrant dans le domaine d'application de la norme XP P50-777. Si tel n'est pas le cas, on parlera de **cas particulier** (par exemple pour les lanterneaux).
- **Composant d'enveloppe** : un composant d'enveloppe est soit une paroi opaque, soit un pont thermique, soit une baie.
- **Élément opaque (de paroi vitrée)**² : remplissage opaque constitutif de l'ensemble menuisé.
- **Inclinaison d'un composant** : l'inclinaison d'un composant d'enveloppe est notée β , et comprise dans l'intervalle $[0^\circ; 180^\circ]$, où 0° correspond à une paroi horizontale orientée vers le ciel, 90° à une paroi verticale et 180° à une paroi horizontale orientée vers le bas.

¹ Selon Arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

² Selon la norme XP P50-777.

- **Masque proche**⁴ : obstacle architectural au rayonnement solaire, lié au bâtiment étudié, tel que les surplombs ou les débords latéraux (« casquettes ») ou les brise-soleil fixes.
- **Masque proche à projection** : masque proche opaque, transparent ou translucide incliné d'un angle β_{pp} par rapport à la verticale, et recouvrant partiellement le composant d'enveloppe.
- **Orientation d'un composant d'enveloppe** : il s'agit de l'orientation de la paroi vitrée associée à la baie. Elle est notée θ et est comprise dans l'intervalle $[0^\circ; 360^\circ]$. Par convention, l'orientation sud correspond à 0° , l'ouest à 90° , le nord à 180° et l'est à 270° .

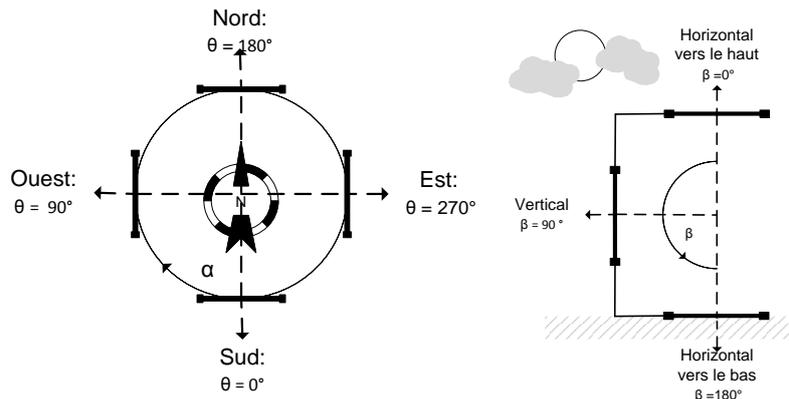


Figure 4 : Conventions d'orientation et d'inclinaison des composants d'enveloppe

- **Paroi transparente ou translucide**³ : une paroi est dite transparente ou translucide si son facteur de transmission lumineuse (hors protection mobile éventuelle) est égal ou supérieur à 0,05. Dans le cas contraire, elle est dite opaque. Un vitrage est un exemple de paroi transparente.
- **Paroi vitrée**⁴ : ensemble menuisé constitué de l'assemblage d'un vitrage, d'un cadre et éventuellement d'une paroi opaque, créant une surface séparative entre un local et le milieu extérieur (voir Figure 5). Une paroi vitrée peut être associée ou non à une protection mobile.

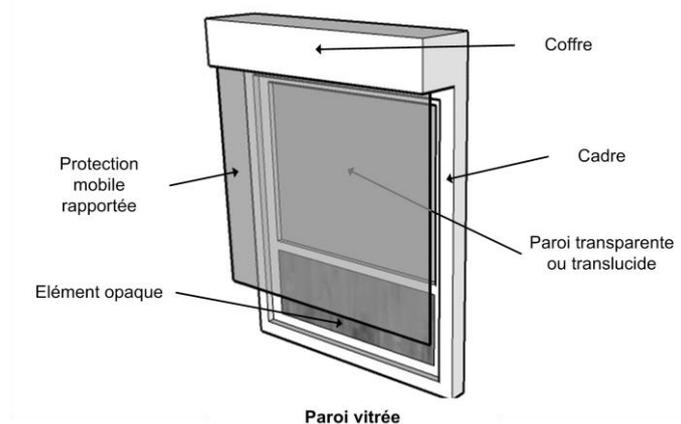


Figure 5 : Éléments constitutifs de la paroi vitrée

³ Selon Arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

⁴ Selon la norme XP P50-777.

- **Protection mobile rapportée**⁴ : ensemble constitué d'un tablier et d'un système de manœuvre se déployant et se repliant parallèlement au plan d'une paroi vitrée dans le but d'en faire varier les propriétés énergétiques et lumineuses. Par extension, on englobe dans ce terme toute protection formant un angle β_{pp} inférieur à 30° par rapport à la verticale. Une protection mobile rapportée peut être installée à l'intérieur d'un local, à l'extérieur, ou entre deux vitrages.

- **Protection mobile à projection** : protection mobile extérieure formant un angle β_{pp} supérieur à 30° par rapport à la verticale (par opposition à une protection mobile rapportée). Cette appellation regroupe notamment l'ensemble des stores toile à projection, stores bannes, et volets ou persiennes projetables. Ces produits ne sont pas couverts par les présentes règles.

- **Protection mobile rapportée à lames inclinées**⁵ (ou orientables) : protection mobile dont le tablier est constitué de lames inclinées selon un axe horizontal ou vertical d'un angle compris entre 0° et 90° par rapport au plan de la baie. Si ce n'est pas le cas, on parlera de protection mobile sans lames inclinées.

1.5.2 Symboles et indices

1.5.2.1 Coefficient U

Tableau I : Symboles

Symbole	Grandeur	Unité
U	Coefficient de transmission surfacique	W/(m ² .K)
ψ	Coefficient de transmission linéique	W/(m.K)
e	Epaisseur	m
R	Résistance thermique	m ² .K/W
A	Surface	m ²
l	Longueur, largeur	m
ΔR	Résistance additionnelle	m ² .K/W
T	Température	K
λ	Conductivité thermique	W/(m.K)
ϵ_n	Emissivité normale	-
ϵ	Emissivité corrigée	-
E	Emittance	-
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

Tableau II : Indices

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

1.5.2.2 Facteur solaire S

Tableau III : Nomenclature pour le facteur solaire

Nom	Unité	Description
$F_{bati_dir}^{fs,Cch}$ $F_{bati_dir}^{fs,Cclim}$, $F_{bati_dir}^{fs,E}$ $F_{bati_dif}^{fs}$	/	Coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage pour les facteurs solaires pour le rayonnement direct en conditions Cch, Cclim et E, et pour le rayonnement diffus.
$F_{bati_dir}^{fs,Cch}$ $F_{bati_dir}^{fs,Cclim}$, $F_{iv_dir}^{fs,E}$ $F_{iv_dif}^{fs}$	/	Coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable du rayonnement incident direct et diffus sur les facteurs solaires en conditions Cch, Cclim et E
$R_{dir}^{fs,Cch}$ $R_{dir}^{fs,Cclim}$ $R_{dir}^{fs,E}$	/	Parts de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global sur la baie dans les conditions Cch, Cclim et les conditions E
K_s	-	Coefficient de forme caractéristique de la baie, fonction des dimensions de celle-ci et de la distance séparant le plan du vitrage de la face extérieure de la paroi opaque.
l_{pp}	m	Longueur du masque à projection
H	m	Hauteur de la baie
β_{pp}	°	Angle entre la paroi verticale et le plan du masque à projection
τ_{pp}	/	Facteur de transmission global du matériau constituant le masque à projection
C_{opp}	-	Coefficient d'ouverture du masque à projection, équivalent à celui d'une protection à projection défini dans la norme NF EN 14500.
A_t	m ²	Aires développées visibles de la plaque translucide, vues des deux côtés de la paroi
A_p	m ²	Aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture
h_e	W/(m ² .K)	Coefficient de transmission thermique superficielle extérieur, calculé en conditions C.
r_v	-	Rapport entre l'énergie solaire annuelle incidente sur les faces verticales de la costière et l'énergie solaire annuelle incidente sur la plaque horizontale
L_1	m	Périmètre intérieur de la costière
α_{e1}	-	Coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière
ψ_1	W/(m.K)	Coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière et calculé selon les Règles Th-Bât, document Méthodes - fascicule parois vitrées.
L_2	m	longueur du profil central pour des lanterneaux à deux vantaux
α_{e2}	-	Coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé central, pour les lanterneaux à deux vantaux
ψ_2	W/(m.K)	Coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé central, pour les lanterneaux à deux vantaux et calculé selon les Règles Th-Bât, document Méthodes - fascicule parois vitrées.

Conventions d'indices

La norme XP P50-777 introduit un certain nombre d'indices afin de distinguer les différentes valeurs de facteurs solaires calculées. Pour rappel, ces notations, également employées dans les présentes règles sont explicitées ci-dessous.

Les indices de caractérisation des composants sont les suivants :

- **w** : paroi vitrée associée à ses éléments opaques sans protection rapportée en place,
- **ws** : paroi vitrée associée à ses éléments opaques avec protection rapportée en place,

Les composantes sont désignées de la manière suivante :

- **1** : composante de transmission directe, aussi qualifiée de composante CLO (courtes longueurs d'onde) ;
- **2** : composante de réémission thermique vers l'intérieur, aussi qualifiée de composante GLO et convective (en référence aux échanges par rayonnement grandes longueurs d'onde et convection) ;
- **3** : composante dite de ventilation liée à la présence d'une lame d'air intérieure ventilée (échauffement et circulation d'une partie de l'air intérieur).

Les deux jeux de conditions aux limites sont distingués par les exposants suivants :

- **C** : conditions pour le calcul des consommations d'énergie, à retenir à la fois pour les locaux climatisés et non-climatisés. Lorsque cela s'avère pertinent, le texte distingue les conditions relatives à la période de chauffage seule ou l'ensemble de l'année. On emploie alors les indices suivants :
 - o **C ch** : conditions pour le calcul des consommations d'énergie sur la période de chauffage, à retenir uniquement pour des locaux non climatisés,
 - o **C clim** : conditions pour le calcul des consommations d'énergie sur l'ensemble de l'année, à retenir uniquement pour des locaux climatisés,
- **E** : conditions pour le calcul du confort thermique d'été et le dimensionnement des systèmes de refroidissement.

Dans le cadre des présentes règles, on retient les notations suivantes :

- o **sp,b** : ramené à la baie, avec prise en compte de l'intégration à l'ouvrage, sans protection rapportée en place,
- o **ap,b** : ramené à la baie, avec prise en compte de l'intégration à l'ouvrage, avec protection rapportée en place,
- o **ouv** : fait référence à la partie de la paroi constituant la baie ouverte sans protection rapportée en place,
- o **ouvs** : fait référence à la partie de la paroi constituant la baie ouverte avec protection rapportée en place.

1.5.2.3 Facteur de transmission lumineuse TL

Tableau IV : Nomenclature pour le facteur de transmission lumineuse

Nom	Unité	Description
TLi	/	Facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement incident direct
TLii	/	Facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement incident direct transmis sous forme directe
TLid	/	Facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement incident direct transmis sous forme diffuse
TLd	/	Facteur de transmission lumineuse global de l'éclairement diffus
TLdi	/	Facteur de transmission lumineuse de l'éclairement diffus transmis sous forme directe
TLdd	/	Facteur de transmission de l'éclairement provenant du ciel sans soleil ou du sol dans une autre direction que l'axe des différentes sources
τ_v^{n-n}	/	Facteur de transmission lumineuse normal-normal
τ_v^{n-h}	/	Facteur de transmission lumineuse normal-hémisphérique
τ_v^{h-h}	/	Facteur de transmission lumineuse hémisphérique-hémisphérique
θ	°	Orientation de la baie
β	°	Inclinaison de la baie
β_{pp}	°	Angle d'inclinaison des protections fixes à projection par rapport à la verticale
τ_v	/	Facteur de transmission lumineuse d'un matériau ou un vitrage (normes EN 410 et EN 14500)
ρ_v	/	Facteur de réflexion lumineuse d'un matériau ou vitrage (norme EN 410)
TL_w	/	Facteur de transmission lumineuse de la paroi vitrée sans protection mobile (norme XP P50-777)
TL_{ws}	/	Facteur de transmission lumineuse de la paroi vitrée avec protection mobile en place (norme XP P50-777)
TL_{w_n,dif}	/	Facteur de transmission lumineuse du rayonnement incident direct, transmis sous forme diffuse (norme XP P50-777)
TL_{ws_n,dif}	/	Facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement direct normal à la paroi, transmis sous forme diffuse (norme XP P50-777)
TL_{ws_dir}(η,α)	/	Facteur de transmission lumineuse global du rayonnement incident direct, pour une paroi vitrée avec protection mobile à lames orientables pour une inclinaison des lames α et un angle de profil η (norme XP P50-777)
TL_{ws_dir,dif}(η,α)	//	Facteur de transmission lumineuse du rayonnement incident direct, transmis sous forme diffuse, pour une paroi vitrée avec protection mobile à lames orientables et pour une inclinaison des lames α et un angle de profil η (norme XP P50-777)
TL_{ws_dif}(α)	/	Facteur de transmission lumineuse global du rayonnement incident diffus, pour une paroi vitrée avec protection mobile à lames orientables, pour une inclinaison de lames α (norme XP P50-777)
TL_{ws_ref}(α)	/	Facteur de transmission lumineuse global du rayonnement incident réfléchi, pour une paroi vitrée avec protection mobile à lames orientables, pour une inclinaison de lames α (norme XP P50-777)
TL_{ws_ref,dif}(α)	/	Facteur de transmission lumineuse diffus du rayonnement incident réfléchi, pour une paroi vitrée avec protection mobile à lames orientables, pour une inclinaison de lames α (norme XP P50-777)
η ou γ'	°	Angle de profil (norme XP P50-777), aussi qualifié de hauteur de soleil corrigée
α	°	Angle d'inclinaison des lames de la protection mobile à lames inclinées
Tli_{ap_dir,b}	/	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident direct pour la partie de la baie vitrée b
Tlid_{ap_dir,b}	/	flux incident diffus de la partie avec protection mobile de la baie vitrée b
Tlid_{ap_ref,b}	/	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident réfléchi de la partie avec protection mobile de la baie vitrée b
Tli_{ap_dir,b}	/	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct sous forme diffuse de la baie vitrée b avec protection mobile en place

$T_{lid_{ap_ref,b}}$	/	Facteur de transmission lumineuse du flux incident réfléchi par le sol sous forme directe, transmis sous forme diffuse de la baie vitrée b avec protection mobile en place
$T_{li_{ap_dir,b}(\eta,\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident direct de la baie vitrée b avec protection mobile en place, pour une hauteur du soleil η et une inclinaison des lames du store vénitien α (SV donnée).
$T_{lid_{ap_dir,b}(\eta,\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct transmis sous forme diffuse de la baie vitrée b avec une protection solaire en place, pour une hauteur du soleil η et une inclinaison des lames du store vénitien α donnée.
$T_{id_{ap_dir,b}(\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct transmis sous forme diffuse pour la baie vitrée b avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α .
$T_{id_{ap_ref,b}(\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident réfléchi de la baie vitrée b avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α donnée.
$T_{lid_{ap_ref,b}(\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse du flux incident réfléchi transmis sous forme diffuse de la baie vitrée b avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α donnée.
R_{dir}^{fl}	/	Pourcentage d'éclairement direct du soleil par rapport à l'éclairement global atteignant la baie.
K	/	Coefficient de forme caractérisant la baie
L	m	Largeur de la baie
H	m	Hauteur de la baie
e	m	Epaisseur de la paroi opaque sur laquelle est située la baie
$F_{bati_dir}^{fl}$	/	Coefficient de correction pour l'éclairement direct du soleil
$F_{bati_dif}^{fl}$	/	Coefficient de correction pour l'éclairement diffus du ciel et du sol
$F_{riv_dir}^{fl}$	/	Coefficient de correction des facteurs de transmission lumineuse pour la prise en compte de l'incidence variable sur le vitrage, dans le cas de l'éclairement direct du soleil.
$F_{riv_dif}^{fl}$	/	Coefficient de correction des facteurs de transmission lumineuse pour la prise en compte de l'incidence variable sur le vitrage, dans le cas de l'éclairement diffus du ciel et du sol.
l_{pp}	m	Longueur du masque à projection
β_{pp}	°	Angle entre la paroi verticale et le plan du masque à projection
τ_{pp}	/	Facteur de transmission lumineuse et facteur de transmission du matériau du masque à projection (ISO 52022-3)
r_{pp}	/	Coefficient caractéristique des dimensions du masque à projection

Pour la norme XP P50-777, les indices de caractérisation des composants sont les suivants :

- **w** : paroi vitrée associée à ses éléments opaques sans protection rapportée en place ;
- **ws** : paroi vitrée associée à ses éléments opaques avec protection rapportée en place.

Dans le cadre du facteur de transmission lumineuse, on retient les notations suivantes :

- **sp,b** : ramené à la baie, avec prise en compte de l'intégration à l'ouvrage, sans protection rapportée en place ;
- **ap,b** : ramené à la baie, avec prise en compte de l'intégration à l'ouvrage, avec protection rapportée en place ;
- **ouv** : fait référence à la partie de la paroi constituant la baie ouverte sans protection rapportée en place ;
- **ouvs** : fait référence à la partie de la paroi constituant la baie ouverte avec protection rapportée en place

1.6 Facteurs de transmission solaire ou lumineuse : l'apport des règles Th-Bât

Le processus normatif évoqué précédemment n'est applicable dans son intégralité que pour des parois vitrées non diffusantes (parois transparentes), associées ou non à des protections rapportées, ce qu'on qualifiera par la suite de cas courants.

Pour ces cas courants, le contexte normatif prévoit la détermination de facteurs de transmission solaire ou lumineuse à incidence directe normale, à l'exception des parois à protections à lames inclinées⁵.

Les présentes règles intègrent une méthode de correction pour prendre en compte l'incidence variable de l'éclairement pour la paroi vitrée positionnée dans des orientations et inclinaisons connues.

De plus, les normes ne font pas état de l'intégration du composant à l'ouvrage, d'où la nécessité de définir des coefficients de correction pour :

- La présence d'un masque à projection ou d'un brise-soleil à lames fixes inclinées,
- L'impact des masques liés à l'épaisseur de la paroi opaque.

Enfin, les cas particuliers qui n'entrent pas dans le contexte normatif, tels les lanterneaux ou les parois en matériau polycarbonate, sont traités de manière simplifiée dans le chapitre afférent des présentes règles.

Les présentes règles, et plus généralement les règles Th-Bât, viennent se positionner de la manière suivante vis-à-vis des normes précédemment évoquées :

Tableau V : Cohérence des textes normatifs et des règles Th-Bât

	Echelle du composant au bâtiment	Facteur de transmission solaire et lumineuse
Composants	Matériau transparent ou translucide	EN 410
	Protection rapportée	EN 14500 et 14501
	Cadre et coffre	XP P50-777
	Élément opaque	XP P50-777
Assemblage de composants	Matériau transparent et protection rapportée	ISO 52022-3
	Parois transparentes ou translucides	XP P50-777
Intégration dans l'ouvrage	Paroi vitrée dans l'ouvrage	<u>Document Méthodes - Parois vitrées</u>
Impact sur l'ambiance intérieure et les besoins en énergie	Bâtiment ou partie de bâtiment	Méthode pour l'application des réglementations thermiques (exemple : Th-BCE Th-Ex...)

⁵ Pour les parois à protections à lames inclinées, les incidences directes quelconques dans le plan perpendiculaire à la paroi, diffuse et réfléchi font également l'objet d'une caractérisation.

Dans les limites du domaine d'application évoquées ci-dessus, les résultats de l'application des normes sont les suivants :

Tableau VI : Résultats d'application des normes de détermination des facteurs solaires pour les parois vitrées nues ou munies de protection mobile autre qu'à lames inclinées

Incidence	Composante intérieure	Paroi vitrée			
		Sans protection rapportée en place (nue)		Avec protection rapportée en place autre qu'à lames inclinées	
		C	E	C ⁽¹⁾	E
Directe normale	Global	S_{w}^C	S_{w}^E	S_{ws}^C	S_{ws}^E
	1 : CLO	S_{w1}^C	S_{w1}^E	S_{ws1}^C	S_{ws1}^E
	2 : GLO et convective	S_{w2}^C	S_{w2}^E	S_{ws2}^C	S_{ws2}^E
	3 : lame d'air intérieure ventilée	S_{w3}^C	S_{w3}^E	S_{ws3}^C	S_{ws3}^E

⁽¹⁾ Les facteurs solaires avec protection, en condition C, ne sont pas utiles pour les calculs réglementaires.

Tableau VII : Résultats d'application des normes de détermination des facteurs solaires pour les parois vitrées munies de protection mobile à lames inclinées

Composante intérieure	Incidence	Paroi vitrée	
		Avec protection rapportée à lames inclinées en place	
		C ⁽¹⁾	E
Global	Directe quelconque	$S_{ws,dir}^C(\eta,\alpha)$	$S_{ws,dir}^E(\eta,\alpha)$
	Diffuse	$S_{ws,dif}^C(\eta,\alpha)$	$S_{ws,dif}^E(\eta,\alpha)$
	Réfléchie	$S_{ws,ref}^C(\eta,\alpha)$	$S_{ws,ref}^E(\eta,\alpha)$
1 : CLO	Directe quelconque	$S_{ws1,dir}^C(\eta,\alpha)$	$S_{ws1,dir}^E(\eta,\alpha)$
	Diffuse	$S_{ws1,dif}^C(\alpha)$	$S_{ws1,dif}^E(\alpha)$
	Réfléchie	$S_{ws1,ref}^C(\alpha)$	$S_{ws1,ref}^E(\alpha)$
2 : GLO et convective	Directe quelconque +Diffuse +Réfléchie	$S_{ws2}^C(\eta,\alpha)$	$S_{ws2}^E(\eta,\alpha)$
3 : lame d'air intérieure ventilée		$S_{ws3}^C(\eta,\alpha)$	$S_{ws3}^E(\eta,\alpha)$

⁽¹⁾ Les facteurs solaires avec protection, en condition C, ne sont pas utiles pour les calculs réglementaires.

Tableau VIII : Résultats d'application des normes pour les parois vitrées

Incidence	Composante intérieure	Paroi vitrée		
		Sans protection rapportée en place (nue)	Avec protection rapportée en place autre qu'à lames inclinées	Avec protection rapportée à lames inclinées en place
Directe normale	Global	TL_w	TL_{ws}	$TL_{ws_dir}(\eta=0, \alpha)$
	Diffusé	$TL_{w_n,dif}$	$TL_{ws_n,dif}$	$TL_{ws_dir,dif}(\eta=0, \alpha)$
Directe quelconque dans le plan vertical perpendiculaire à la paroi	Global			$TL_{ws_dir}(\eta, \alpha)$
	Diffusé			$TL_{ws_dir,dif}(\eta, \alpha)$
Diffuse	Global			$TL_{ws_dif}(\alpha)$
Réfléchie	Global			$TL_{ws_ref}(\alpha)$
	Diffusé			$TL_{ws_ref,dif}(\alpha)$

Les présentes règles aboutissent à partir de ces données d'entrée aux résultats du produit intégré dans son ouvrage qui sont déterminés conformément aux paragraphes 3.2 et 3.3.

2 Méthodes de calcul des parois vitrées du bâtiment neuf par procédé

Les paragraphes ci-après détaillent, pour chaque procédé de paroi vitrée ou translucide, les méthodes de calcul du coefficient de transmission thermique U , du facteur solaire S et du facteur de transmission lumineuse Tl , avec et sans protection solaire.

Les coefficients de prise en compte de l'intégration dans l'ouvrage de ces procédés sont détaillés dans les paragraphes 3.1 (pour la transmission thermique), le paragraphe 3.2 (pour le facteur solaire) et le paragraphe 3.3 (pour la transmission lumineuse).

Une alternative aux méthodes de calcul décrites ci-après est la mesure de la paroi vitrée ou de ses composants conformément aux normes d'essai citées au paragraphe 1.4. 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.

Lorsqu'un calcul est réalisé les règles d'arrondi à utiliser sont précisées au paragraphe 2.17.

2.1 Fenêtres et Portes-fenêtres

2.1.1 Coefficient de transmission thermique U_w des fenêtres et portes-fenêtres sans protection

Le coefficient de transmission thermique U_w de la fenêtre nue est à déterminer selon la norme produit harmonisée européenne NF EN 14351-1.

Dans le cas où la valeur de transmission thermique est déterminée par calcul (selon la norme de calcul NF EN ISO 10077-1), des hypothèses de calcul et des règles de présentation des résultats, qui précisent celles indiquées dans la norme, sont à utiliser (cf. paragraphes 2.1.1.1 et 2.1.1.2).

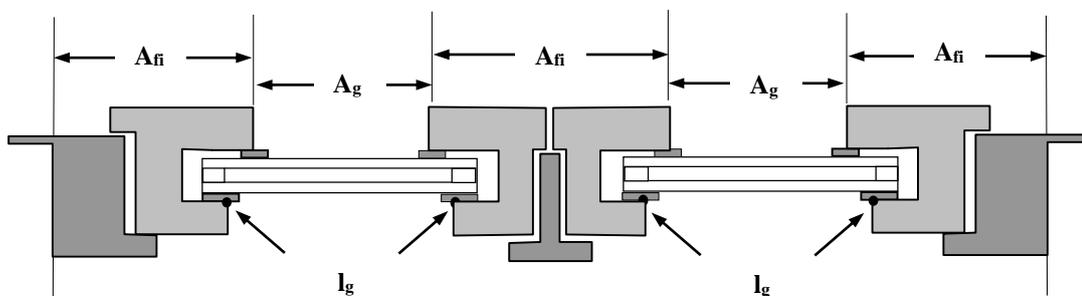


Figure 6 : Dimensions des différents composants de la fenêtre

Pour rappel, le principe du calcul du coefficient de transmission thermique U_w de la fenêtre ou de la porte-fenêtre peut être calculé selon la formule suivante :

$$U_w = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_{fi} A_{fi} + \sum \psi_g l_g}{\sum A_g + \sum A_{fi}} \quad (\text{Formule 1}) ;$$

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_{fi} 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 . La largeur des montants en partie courante est supposée se prolonger sur toute la hauteur de la fenêtre.
- 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 $W/(m^2.K)$. La méthode de calcul détaillée du coefficient U_g du vitrage isolant est décrite dans la norme NF EN 673. En cas de parois vitrées inclinées, une valeur de U_g en position horizontale est également requise en plus de la valeur de U_g en position verticale.
- U_{fi} est le coefficient surfacique de la menuiserie du montant ou de la traverse numéro i, en $W/(m^2.K)$. Le coefficient U_{fi} de la menuiserie peut être déterminé soit par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, soit par mesure directe conformément à la norme NF EN ISO 12412 – 2.
- ψ_g est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'intercalaire du vitrage et du profilé, en $W/(m.K)$. Il peut être déterminé soit par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, soit par mesure directe conformément à la norme NF EN ISO 12412 – 2.

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

$$U_w = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_{fi} A_{fi} + \sum U_p A_p + \sum \psi_g l_g + \sum \psi_p l_p}{\sum A_g + \sum A_{fi} + \sum A_p} \quad (\text{Formule 2}) ;$$

où

- U_p est le coefficient surfacique en partie centrale du panneau opaque en $W/(m^2.K)$. La méthode de calcul correspondante est donnée dans le fascicule Méthode - Parois opaque.
- ψ_p est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'espaceur du panneau et du profilé, en $W/(m.K)$. Il peut être déterminé soit par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, soit par mesure directe conformément à la norme NF EN ISO 12412 – 2.
- l_p est la plus grande somme des périmètres visibles du panneau, vus des deux côtés de la paroi en m.

2.1.1.1 Hypothèses de modélisation

Le coefficient de transmission thermique U_w de la fenêtre est déterminé en considérant que la largeur des montants en partie courante se prolonge sur toute la hauteur de la fenêtre.

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.

Les dimensions à prendre en compte pour le calcul du coefficient surfacique moyen U_w , sont les dimensions hors tout de la fenêtre ou de la porte-fenêtre, prises indépendamment de la mise en œuvre. Tout débordement dû aux recouvrements éventuels est à exclure (cf. Figure 6).

La conductivité thermique des matériaux doit être déterminée à partir de la norme NF EN ISO 10077-2 ou des valeurs par défaut données dans le fascicule Matériaux des règles Th-Bât.

Pour les matériaux (autre que les matériaux isolants manufacturés) qui ne figurent pas dans les règles Th-Bât, 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 Matériaux et concernent des matériaux courants utilisés pour la fabrication des éléments de parois vitrées :

Tableau IX – 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
	Epicéa, Sapin blanc, Western Red Cedar	(1)	0,11
	Acajou d'Afrique, Cèdre, Douglas, Framiré, Méléze, 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

(1) Lorsque l'essence de bois est inconnue, on utilisera les valeurs de conductivité thermique, liées à la masse volumique moyenne ρ_n , données dans le fascicule Matériaux.

Tableau IX (suite) – Propriétés thermiques des matériaux

Groupe de matériau	Matériau	Masse volumique kg/m ³	Conductivité thermique W/(m.K)
Verre	Verre silico-sodo-calcique	2500	1,00
Coupure thermique	Polyamide 6.6 avec 25 % de fibre de verre	1450	0,30
	Polyéthylène forte densité	980	0,50
	Polyéthylène faible densité	920	0,33
	Résine de polyuréthane	1200	0,25
	PVC rigide	1390	0,17
Produits d'étanchéité	Néoprène	1240	0,23
	EPDM	1150	0,25
	Silicone pure	1200	0,35
	PVC souple	1200	0,14
	Brosse en polyester	-	0,14
	Mousse élastomère flexible	60-80	0,05
Produits de scellement du vitrage isolant	Polyuréthane rigide	1200	0,25
	Butyle solide	1200	0,24
	Silicone pure	1200	0,35
	Résine de polyester	1400	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	1700	0,40

2.1.1.2 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/(m².K) ;
- La méthode utilisée pour le traitement des cavités d'air.

2.1.2 Coefficient de transmission thermique U_{ws} des fenêtres et portes-fenêtres avec protection

Ce paragraphe donne la méthode de calcul du coefficient U_{ws} des parois vitrées équipées de protection mobile, type fermeture ou store, selon la norme NF EN ISO 10077-1 à partir du coefficient U_w de la fenêtre nue (norme 10077-1) et de la résistance thermique additionnelle ΔR (norme 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 la formule :

$$U_{ws} = \frac{1}{(1/U_w + \Delta R)} \quad (\text{Formule 3}) ;$$

où

U_w est le coefficient de transmission thermique U de la paroi vitrée, en $W/(m^2.K)$, donné au paragraphe 2.1.1 ;

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 , d'une fermeture extérieure ou d'un store intérieur, extérieur ou entre vitrages (sans revêtement à faible émissivité), sont calculées conformément à la norme NF EN 13125. Des valeurs par défaut, pour les fermetures extérieures, sont données dans le document Applications – Parois vitrées.

Dans le cas d'une fermeture extérieure avec revêtement à faible émissivité, la résistance thermique additionnelle ΔR se calcule selon la méthode ci-dessous :

La résistance thermique additionnelle apportée par une fermeture possédant une face faiblement émissive côté lame d'air se calcule en fonction de sa classe de perméabilité à l'air telle que définie dans la norme NF EN 13125:

- Classe 3 ou inférieure : l'effet de la couche basse émissivité est négligeable du fait des circulations d'air importantes. Le calcul de la résistance thermique additionnelle ΔR se fait alors conformément à la méthode des fermetures extérieures de la norme NF EN 13125.

- Classe 4 : Fermetures de faible perméabilité :

$$\Delta R = 0,80 \times (R_s + R_{ge}) \quad (\text{Formule 4}) ;$$

- Classe 5 : Fermetures de très faible perméabilité :

$$\Delta R = 0,95 \times (R_s + R_{ge}) \quad (\text{Formule 5}) ;$$

Où :

R_s Résistance thermique intrinsèque de la fermeture, en $m^2.K/W$,

R_{ge} Résistance thermique de la lame d'air non ventilée et intégrant la face faiblement émissive, calculée selon le document Méthodes - Parois opaques. L'émissivité utile ε_u de la face intérieure de la fermeture doit être calculée de la manière suivante :

- $\varepsilon_u = \varepsilon_c$, si ε_c est une valeur d'émissivité suivie dans le cadre d'une certification de type NF 202 de la marque NF FERMETURES ou équivalent.
- $\varepsilon_u = 1,15 \times \text{Max}(0,27 ; \varepsilon_d)$, si ε_d est la valeur déclarée par le fabricant, déterminée conformément à la norme NF EN 15976

Le tableau suivant indique les résistances thermiques de la lame d'air non ventilée intégrant la face faiblement émissive $R_{g\epsilon}$ en fonction de l'émissivité utile ϵ_u :

Tableau X : Résistances thermiques de la lame d'air non ventilée intégrant la face faiblement émissive $R_{g\epsilon}$ en fonction de l'émissivité utile ϵ_u

ϵ_u	$R_{g\epsilon}$ (m ² .K/W)
0,27	0,34
0,30	0,33
0,35	0,30
0,40	0,28
0,50	0,25
0,90	0,17

2.1.3 Facteurs de transmission solaire S_w et S_{ws} des fenêtres et portes-fenêtres

Les facteurs solaires de la fenêtre nue et de la fenêtre avec protection solaire déployée sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

2.1.4 Facteurs de transmission lumineuse TL_w et TL_{ws} des fenêtres et portes fenêtres

Les facteurs de transmission lumineuse de la fenêtre nue et de la fenêtre avec protection solaire déployée sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

2.2 Fenêtres de toit

2.2.1 Coefficients de transmission thermique U_w et U_{ws} des fenêtres de toit

Dans le cadre d'un calcul de consommation ou de confort à l'échelle du bâtiment, il est nécessaire de fournir des valeurs de coefficients U_w à l'horizontale (noté $U_{w,0^\circ}$ dans la suite du paragraphe) et une valeur à la verticale (noté $U_{w,90^\circ}$ dans la suite du paragraphe). Il en va de même pour les coefficients U_{ws} .

Les dimensions à prendre en compte pour le calcul des coefficients surfaciques moyens U_w sont les dimensions hors tout de la fenêtre de toit, prises indépendamment de la mise en œuvre. Tout débordement dû aux recouvrements éventuels est à exclure.

- Coefficient de transmission thermique en position verticale $U_{w,90^\circ}$:

Le coefficient de transmission thermique en position verticale $U_{w,90^\circ}$ de la fenêtre est à déterminer selon la norme produit harmonisée européenne NF EN 14351-1.

Lors du calcul du coefficient de transmission thermique $U_{w,90^\circ}$ (selon la norme de calcul NF EN ISO 10077-1), les conditions adiabatiques, utilisées pour le calcul des U_{fi} et Ψ_{gi} selon la norme NF EN ISO 10077-2, doivent être positionnées entre le cadre et l'isolation de la toiture. De plus, le coefficient de transmission thermique U_f du cadre est déterminé en considérant que la largeur des montants en partie courante se prolonge sur toute la hauteur de la fenêtre de toit.

- Coefficient de transmission thermique en position horizontale $U_{w,0^\circ}$:

Le coefficient de transmission thermique en position horizontale $U_{w,0^\circ}$ de la fenêtre est à déterminer par calcul selon la norme NF EN ISO 10077-1. Les conditions adiabatiques, utilisées pour le calcul des U_{fi} et Ψ_{gi} selon la norme NF EN ISO 10077-2, doivent être positionnées entre le cadre et l'isolation de la toiture. De plus, le coefficient de transmission thermique U_f du cadre est déterminé en considérant que la largeur des montants en partie courante se prolonge sur toute la hauteur de la fenêtre de toit.

A défaut de donnée disponible pour réaliser le calcul détaillé précédent, le coefficient de transmission thermique en position horizontale $U_{w,0^\circ}$ de la fenêtre se déduit du coefficient de transmission thermique en position verticale $U_{w,90^\circ}$ par la formule suivante :

$$U_{w,0^\circ} = 1,6 \times U_{w,90^\circ} \quad (\text{Formule 6}) ;$$

Note : les valeurs thermiques utiles présentes dans les ATEC et DTA des fenêtres de toit sont calculées conformément aux conventions précédentes.

2.2.2 Facteurs de transmission solaire S_w et S_{ws} des fenêtres de toit

Les facteurs solaires de la fenêtre de toit nue et de la fenêtre de toit avec protection solaire déployée sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

2.2.3 Facteurs de transmission lumineuse TL_w et TL_{ws} des fenêtres de toit

Les facteurs de transmission lumineuse de la fenêtre de toit nue et de la fenêtre de toit avec protection solaire déployée sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

2.3 Fenêtres à galandage

2.3.1 Coefficients de transmission thermique U_w et U_{ws} des fenêtres à galandage

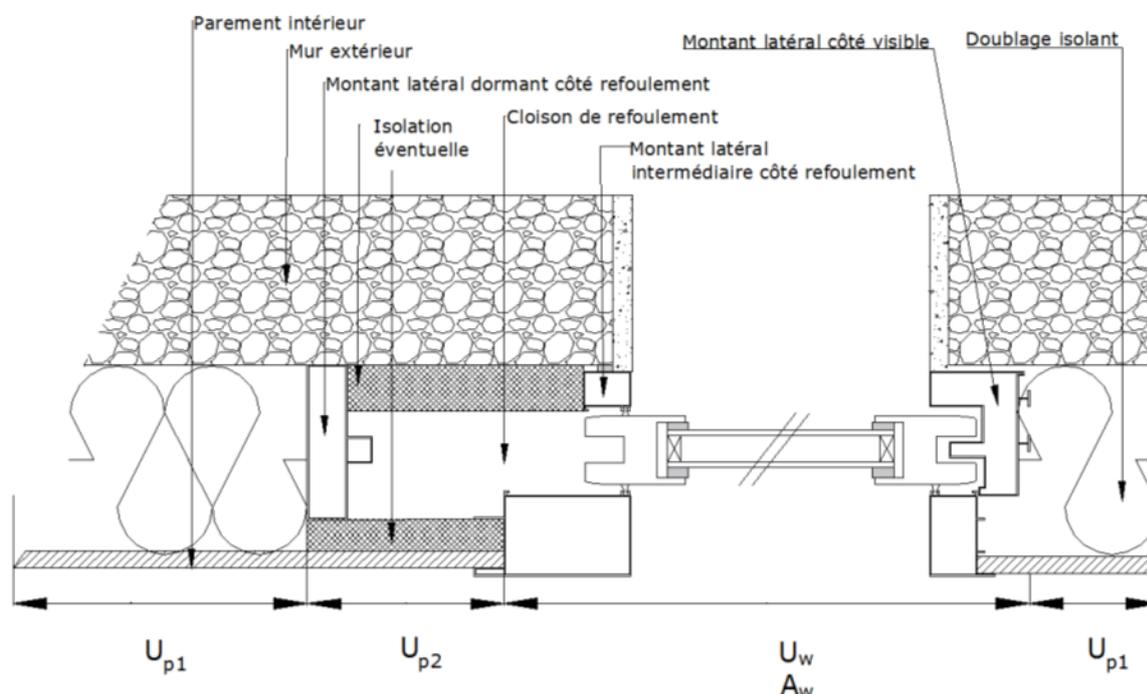


Figure 7 : Schéma d'une fenêtre à galandage

Le calcul du coefficient U_w d'une fenêtre à galandage nue est réalisé selon la formule :

$$U_w = \frac{U_g \times A_g + \sum_i U_{fi} \times A_{fi} + \sum_i \psi_{gi} \times l_{gi}}{A_g + A_f} \quad \text{W/(m}^2\text{.K)} \quad \text{(Formule 7) ;}$$

avec :

- U_g : coefficient surfacique de transmission thermique de la partie vitrée, en $W/(m^2.K)$;
- A_g : la plus petite surface de vitrage vue des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m^2 ;
- U_{fi} : coefficient surfacique du montant ou de la traverse numéro i , en $W/(m^2.K)$: ce coefficient est calculé par une méthode numérique aux éléments finis.
Le calcul particulier du montant latéral intermédiaire côté refoulement est expliqué ci-dessous ;
- A_{fi} : surface du montant ou de la traverse numéro i , en m^2 . La largeur des montants latéraux est supposée prolongée sur toute la hauteur de la fenêtre ;
- A_f : la plus grande surface de la menuiserie vue des deux côtés intérieur et extérieur, en m^2 ;
- Ψ_g : coefficient de transmission thermique linéique dû à l'effet thermique entre le vitrage et la menuiserie, en $W/(m.K)$;
- l_g : le plus grand périmètre du vitrage vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m .

Définition largeur b_r :

- Cas où le profilé côté intérieur est plus large que celui du côté extérieur :

Seuls les éléments de recouvrements ne sont pas pris en compte dans la largeur b_r du profilé :

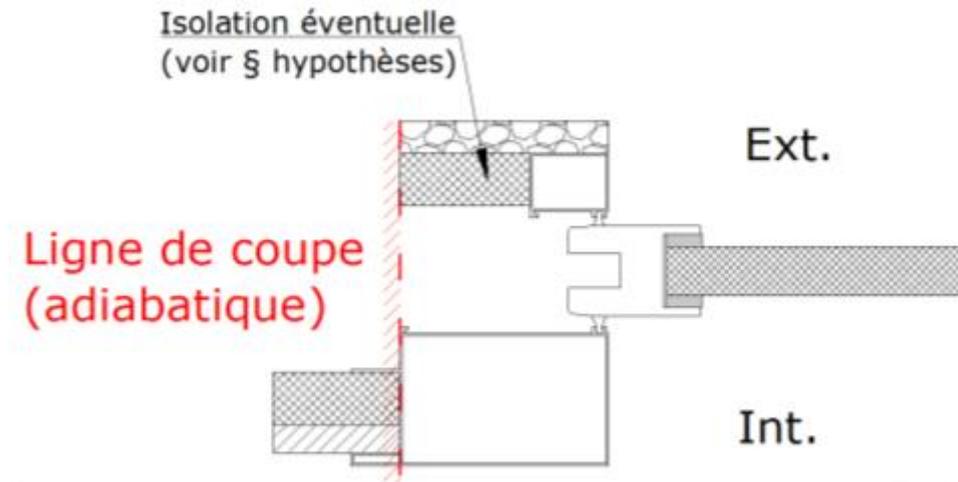


Figure 8 : Définition de la largeur b_r (profilé intérieur plus large que celui à l'extérieur)

Dans le cas général, la ligne de coupe sera placée au droit du parement intérieur à condition que cette dernière ne supprime aucun autre élément des profilés dormant ou ouvrant.

- Cas où le profilé côté extérieur est plus large que celui du côté intérieur :

Les éléments de recouvrements du mur extérieur (gros œuvre) ne sont pas pris en compte dans la largeur b_r à condition que la largeur de la zone de contact entre le dormant et le mur soit supérieure à 28 mm (conformément au DTU 36-5 P1-1). Cette découpe est possible uniquement si la ligne de coupe ne supprime aucun autre élément des profilés dormant ou ouvrant :

$l > 28 \text{ mm}$ (DTU 36-5 P1-1)

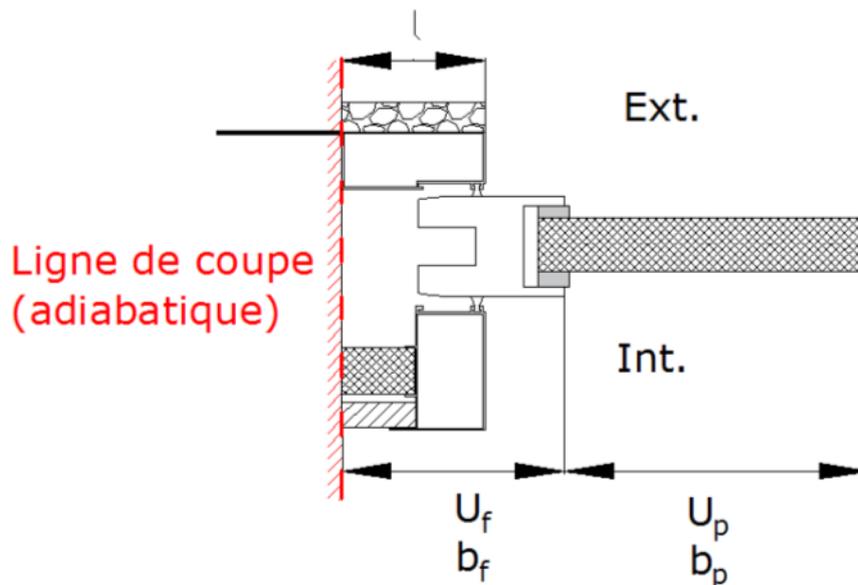


Figure 9 : Définition de la largeur b_r (profilé extérieur plus large que celui à l'intérieur)

Cas du montant intermédiaire côté refoulement :

Le profilé de refoulement est découpé en deux parties, l'une contient le vitrage, l'autre contient le doublage isolant.

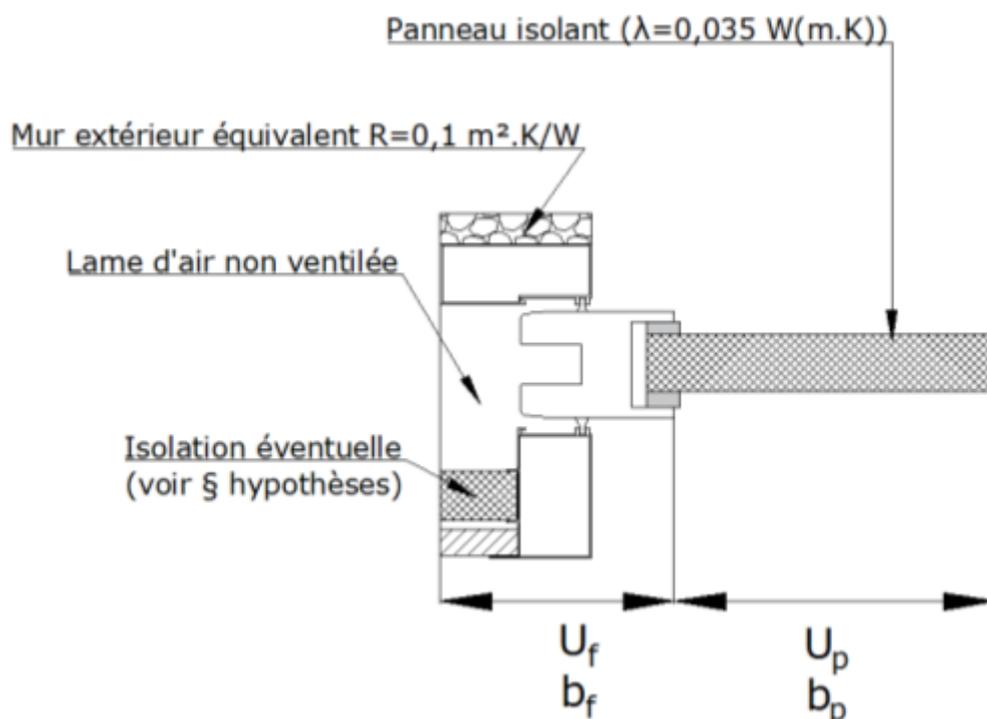


Figure 10 : Définition de la largeur b_f du montant intermédiaire côté refoulement

On détermine un coefficient U_f du profilé de refoulement en remplaçant le vitrage par un isolant et le mur extérieur par un mur équivalent de résistance thermique égale à $0,1 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ ($e=10 \text{ mm} - \lambda = 0,1 \text{ W}/(\text{m}.\text{K})$).

$$U_f = \frac{\frac{\varphi_1}{\Delta T} - U_p \times b_p}{b_f} \quad \text{W}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad (\text{Formule 8}) ;$$

avec :

- φ_1 : flux total à travers la section, obtenu par calcul numérique, en W/m ;
- ΔT : la différence de température, en K ;
- U_p : coefficient surfacique de transmission thermique du panneau isolant en $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$, (avec une conductivité thermique de $0,035 \text{ W}/(\text{m}.\text{K})$) remplaçant le vitrage ;
- b_p : le plus grand périmètre visible de panneau vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi en m ;
- b_f : la largeur projetée de la menuiserie en m .

Cas du montant latéral dormant côté refoulement :

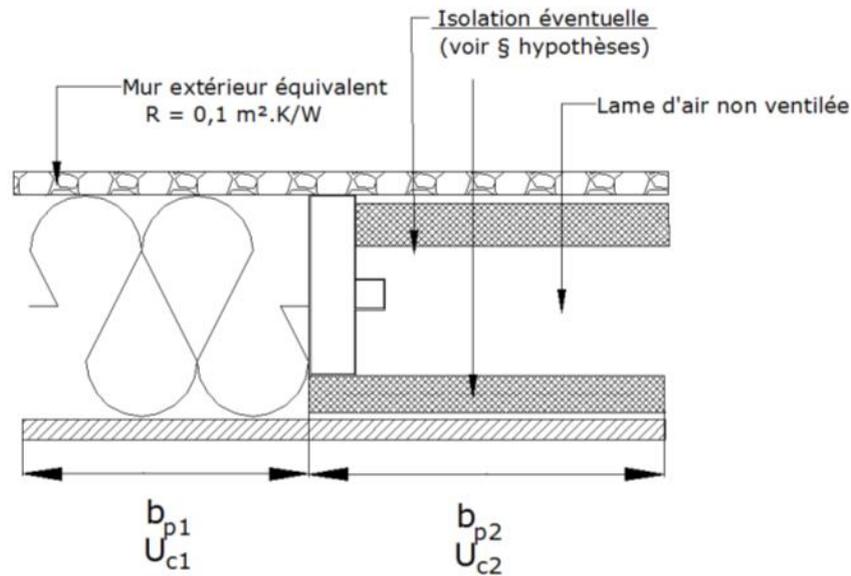


Figure 11 : Définition de la largeur b_r du montant latéral dormant côté refoulement

La déperdition liée au montant latéral dormant côté refoulement est prise en compte dans un pont thermique intégré, à travers un coefficient Ψ_r calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\Psi_r = \frac{\varphi_2}{\Delta T} - U_{c1} \times b_{p1} - U_{c2} \times b_{p2} \quad \text{W/(m.K)} \quad \text{(Formule 9) ;}$$

Avec :

- φ_2 : flux total à travers la section, obtenu par calcul numérique, en W/m ;
- ΔT : la différence de température, en K ;
- U_{c1} : coefficient surfacique de transmission thermique en partie courante de la paroi opaque en W/(m².K) ;
- U_{c2} : coefficient surfacique de transmission thermique en partie courante de la cloison de refoulement en W/(m².K) ;
- b_{p1} : linéaire de paroi opaque en m, avec $b_{p1} \geq 250$ mm ;
- b_{p2} : linéaire de cloison de refoulement en m, avec $b_{p2} \geq 250$ mm.

Valeurs par défaut du coefficient Ψ_r :

Coupes côté refoulement	Coefficient Ψ_r en W/m.K	
	Profilé sans rupture thermique	Profilé avec rupture thermique
Montant latéral, Traverse haute, Traverse basse	0,20	0,15

Nota: Ce coefficient Ψ_r n'est pas pris en compte dans le coefficient U_w de la fenêtre à galandage mais dans le coefficient U_{p2} de la cloison de refoulement.

Le coefficient de transmission thermique U_{p2} de la cloison de refoulement est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$U_{p2} = U_{c2} + \frac{\Psi_r \times H}{A_{p2}} \quad \text{W/(m.K)} \quad (\text{Formule 10}) ;$$

Avec :

- U_{c2} : coefficient surfacique de transmission thermique en partie courante de la cloison de refoulement en $W/(m^2.K)$;
- Ψ_r : coefficient de déperdition linéique lié au montant latéral (ou à la traverse haute ou basse) dormant côté refoulement en $W/(m.K)$;
- H : hauteur du montant latéral dormant côté refoulement en m ;
- A_{p2} : surface de la cloison de refoulement.

Hypothèses :

On détermine la résistance thermique équivalente de la lame d'air non ventilée selon le document Méthodes - Parois opaques des règles Th-Bât.

De plus, on remplace la paroi extérieure en contact avec le profilé par un mur extérieur équivalent avec $e=10$ mm - $\lambda = 0,1$ $W/(m.K)$.

On utilise une conductivité thermique par défaut pour le parement intérieur à $0,25$ $W/(m.K)$ et $0,035$ $W/(m.K)$ pour le doublage isolant.

En présence d'une isolation éventuelle de la paroi côté refoulement, on distinguera deux cas :

- Le refoulement est pré-isolé par le fabricant : on utilise la conductivité thermique réelle de l'isolant conformément aux règles Th-Bât.
- Le refoulement n'est pas pré-isolé par le fabricant : on utilise une conductivité thermique par défaut de l'isolant à $0,035$ $W/(m.K)$.

Le coefficient de transmission thermique U_{ws} de la fenêtre à galandage avec sa protection se calcule selon le §2.1.2.

Nota : Dans le cas d'un procédé de galandage, la surface A_w est très différente de la surface de la baie A_{baie} . La connaissance de la surface A_w est indispensable pour la détermination des coefficients U_w , d'un procédé de galandage.

2.4 Doubles fenêtres, doubles portes ou doubles portes-fenêtres

2.4.1 Coefficients de transmission thermique U_w et U_{ws} des doubles fenêtres, doubles portes ou doubles portes-fenêtres

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 U_w 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 :

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} + (R_{si} + R_{se}) + R_s + \frac{1}{U_{w2}}} \quad (\text{Formule 11}) ;$$

R_{si} et R_{se} étant les résistances superficielles, intérieures et extérieures, respectivement égales à 0,13 m².K/W et 0,04 m².K/W.

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 consulter le document Méthodes - Parois opaques), sans qu'aucune disposition ne soit entreprise pour limiter les échanges d'air avec l'extérieur.

Pour une épaisseur de la lame d'air comprise entre 25 et 300 mm, la résistance de la lame d'air R_s est égale à 0,18 m².K/W.

Le coefficient de transmission thermique U_{ws} de la double fenêtre, double porte ou double porte-fenêtre avec sa protection se calcule selon le §2.1.2.

2.5 Blocs-baies

2.5.1 Coefficient de transmission thermique $U_{bb,w}$ des blocs-baies sans protection

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

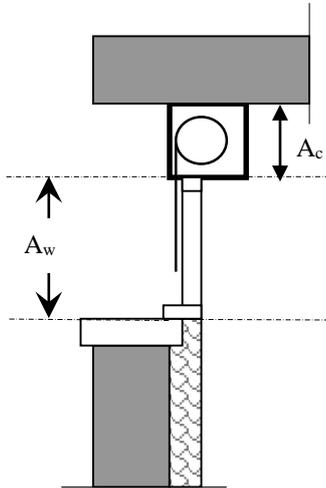


Figure 12 : Coffre de volet roulant dans la surface du tableau de la baie

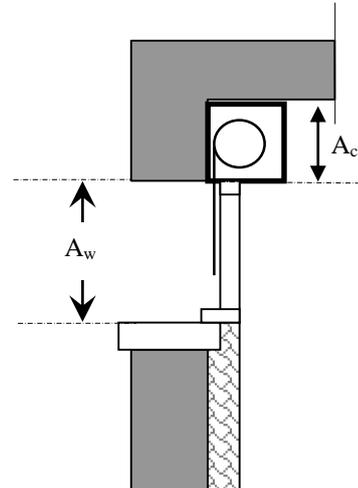


Figure 13 : Coffre de volet roulant en applique derrière linteau

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 :

$$U_{bb,w} = \frac{U_w A_w + U_c A_c}{A_w + A_c} \quad \text{(Formule 12) ;}$$

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 2.1.1, en $W/(m^2.K)$;

U_c est le coefficient surfacique du coffre calculé au paragraphe 2.6.1.1, 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 .

2.5.1.2 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 2.6.1.2. :

$$U_{bb,w} = U_w \quad \text{(Formule 13) ;}$$

2.5.2 Coefficient de transmission thermique $U_{bb,ws}$ des blocs-baies avec protection

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 :

$$U_{bb,ws} = \frac{U_{ws} A_w + U_c A_c}{A_w + A_c} \quad (\text{Formule 14}) ;$$

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 2.1.2, en $W/(m^2.K)$;

U_c est le coefficient surfacique du coffre calculé au § 2.6.1.1, 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 .

2.5.2.2 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 § 2.6.1.2. :

$$U_{bb,ws} = U_{ws} \quad (\text{Formule 15}) ;$$

2.5.3 Facteurs de transmission solaire $S_{bb,w}$ et $S_{bb,ws}$ des blocs-baies

2.5.3.1 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant s'inscrit dans la surface du tableau de la baie

Les facteurs solaires du bloc-baie nu et du bloc-baie avec protection solaire déployée sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

2.5.3.2 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau

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 § 2.1.3. :

$$S_{bb,ws} = S_{ws} \quad (\text{Formule 16}) ;$$

2.5.4 Facteurs de transmission lumineuse $TL_{bb,w}$ et $TL_{bb,ws}$ des blocs-baies

2.5.4.1 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant s'inscrit dans la surface du tableau de la baie

Les facteurs de transmission lumineuse du bloc-baie nue et du bloc-baie avec protection solaire déployée sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

2.5.4.2 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau

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 § 2.1.4. :

$$TL_{bb,ws} = TL_{ws} \quad (\text{Formule 17}) ;$$

2.6 Coffres de volet roulant

2.6.1 Coefficient de transmission thermique U_c des coffres de volet roulant

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

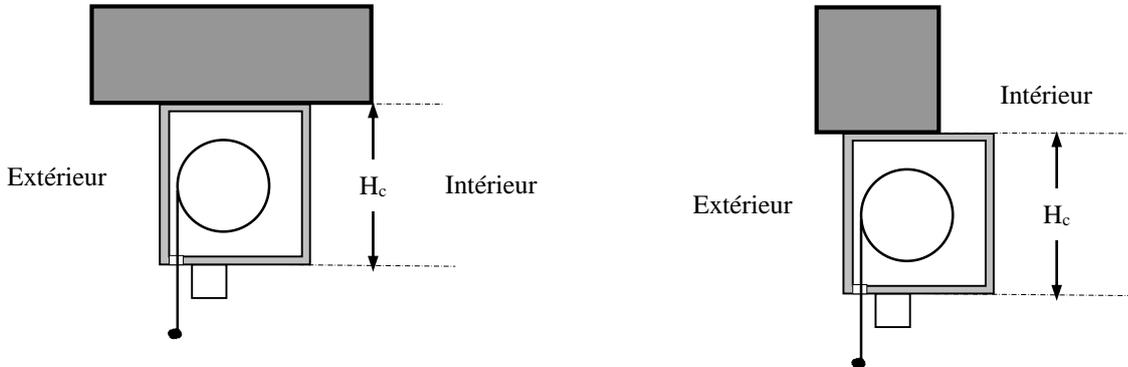


Figure 14 - Coffres sous dalle ou sous linteau

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 :

$$U_c = U_{c1} + U_e \frac{2 A_e}{A_c} \quad (\text{Formule 18}) ;$$

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 $W/(m^2.K)$; il doit être déterminé par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10077-2 et NF EN ISO 10211 :

$$U_{c1} = \frac{\varphi}{H_c \times \Delta T} \quad (\text{Formule 19}) ;$$

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 est le coefficient surfacique des embouts du coffre, en $W/(m^2.K)$; il se calcule d'après la formule suivante :

$$U_e = \frac{1}{0,26 + \sum \frac{d_j}{\lambda_j}} \quad \text{(Formule 20) ;}$$

où d_j, 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.

A_c est l'aire projetée du coffre, en m^2 ($= H_c \times L_c$). L_c et H_c sont respectivement la longueur et la hauteur projetée du coffre ;

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

Si l'embout est en plastique : on enlève de la surface A_e , les parties en contact avec l'isolation du coffre et du mur :

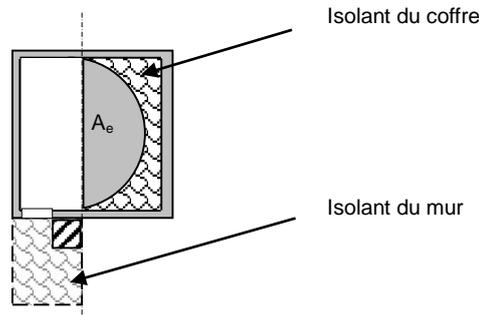


Figure 15 : Surface A_e pour un coffre derrière linteau en isolation par l'intérieur

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 :

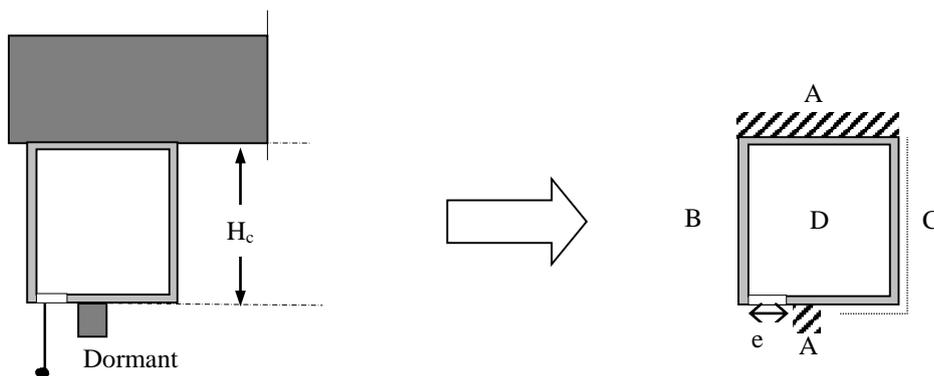


Figure 16 : Condition aux limites du coffre de volet roulant

Où :

- A est la condition adiabatique aux contacts entre le coffre et :
 - le dormant de la menuiserie (si largeur 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 cavité du coffre considérée :
 - partiellement ventilée, si $e \leq 35 \text{ mm}$;
 - en ambiance extérieure et résistance superficielle intérieure (R_{si}, T_e), si $e > 35 \text{ mm}$;
 - 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, on applique la norme NF EN ISO 10077-2

2.6.1.2 Coffre derrière linteau ou sous linteau associé à une isolation complémentaire par l'intérieure ou par l'extérieure à la paroi

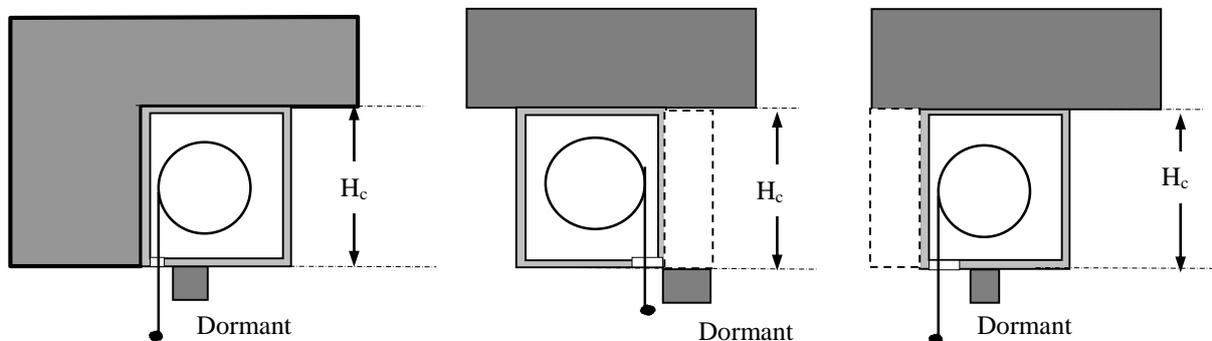


Figure 17 - Coffre derrière linteau ou sous linteau associé à une isolation thermique intérieure ou extérieure

A 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 du coefficient U_c :

$$U_p = U_{pl} + U_e \frac{2 A_e}{A_c} \quad (\text{Formule 21}) ;$$

$$U_{pl} = \frac{\varphi}{H_c \times \Delta T} \quad (\text{Formule 22}) ;$$

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 2.6.1.1.

2.6.1.3 Expression des résultats

Le résultat final du coefficient 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.

2.6.2 Facteurs de transmission solaire S_c ou S_p des coffres de volet roulant

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

Les facteurs solaires S_c du coffre de volet roulant sous dalle ou sous linteau sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

2.6.2.2 Coffre derrière linteau ou sous linteau associé à une isolation complémentaire par l'intérieure ou par l'extérieure à la paroi

Dans ce cas, le coffre de volet roulant derrière linteau ou sous linteau associé à une isolation complémentaire est considéré comme une paroi opaque et les facteurs solaires S_p du coffre de volet roulant sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

2.6.3 Facteurs de transmission lumineuse TL_c ou TL_p des coffres de volet roulant

Quelquesoit le coffre de volet roulant (sous dalle, sous linteau ou derrière linteau, le coefficient de transmission lumineuse TL_c ou TL_p est pris égal à 0.

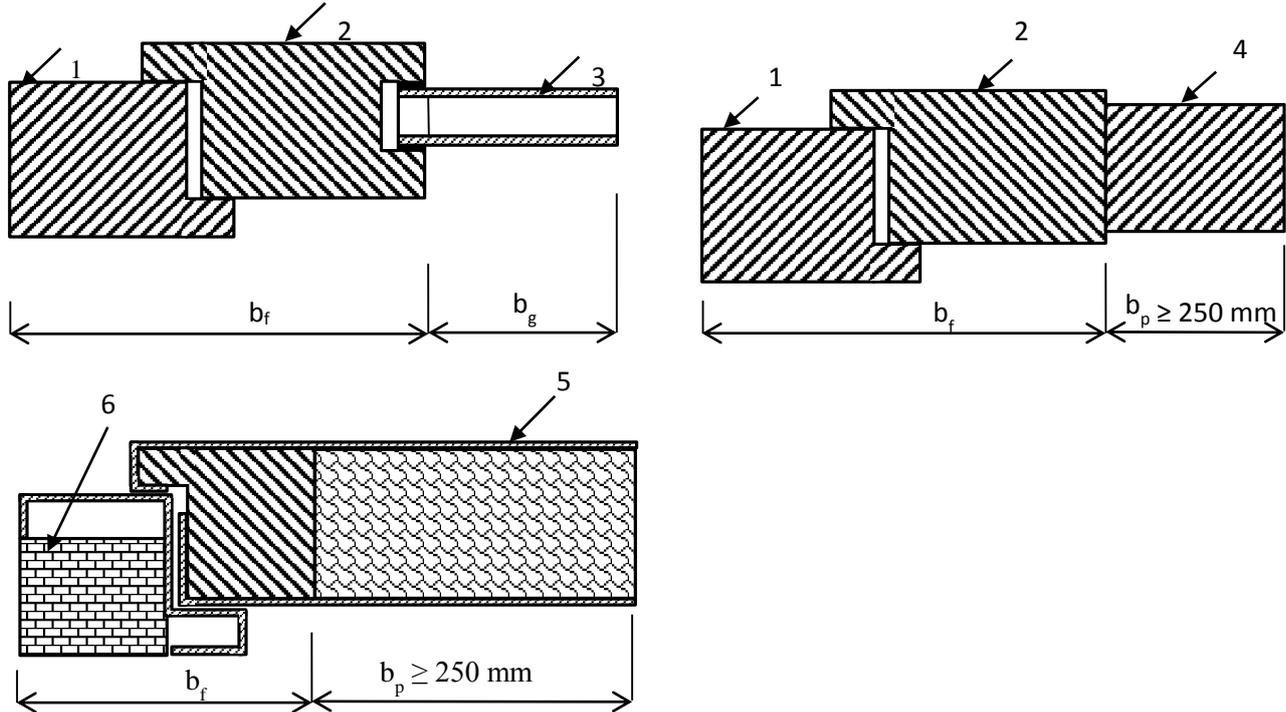
2.7 Portes

2.7.1 Coefficient de transmission thermique U_d

2.7.1.1 Porte d'entrée ou porte palière

Le coefficient de transmission surfacique moyen de la porte peut être déterminé soit par calcul conformément à la méthode donnée ci-après (conforme à la norme NF EN ISO 10077 partie 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 portes.

De plus des valeurs par défaut sont disponibles dans le document Applications - Parois vitrées au §2.7.



Légende

- 1 encadrement (fixe)
- 2 vantail (mobile)
- 3 vitrage
- 4 panneau opaque
- 5 panneau opaque avec parements métalliques et isolation
- 6 zone adiabatique

Figure 18 : Exemple de porte intégralement vitrée ou comportant du vitrage et des panneaux opaques

Le calcul du coefficient U_d d'une porte d'entrée (ou d'une porte palière) avec vitrage et panneau opaque est réalisé selon la formule :

$$U_d = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_p A_p + \sum U_{fi} A_{fi} + \sum \Psi_g \ell_g + \sum \Psi_p \ell_p}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_{fi}} \quad \text{W/(m}^2\cdot\text{K)} \quad \text{(Formule 23) ;}$$

avec :

- U_g : coefficient surfacique de transmission thermique utile de la partie vitrée, en $W/(m^2.K)$;
- A_g : la plus petite surface de vitrage vue des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi en m^2 ,
- U_p : coefficient surfacique de transmission thermique de la partie opaque, en $W/(m^2.K)$. ;
- A_p : la plus petite surface de panneau opaque vue des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m^2 ,
- U_{fi} : coefficient surfacique du montant ou de la traverse numéro i , en $W/(m^2.K)$: ce coefficient est calculé par une méthode numérique aux éléments finis. La méthode de calcul des coefficients U_{fi} est donnée ci-dessous :

$$U_{fi} = \frac{\frac{\Phi_{fi}}{\Delta T} - U_{p1} \cdot b_p}{b_{fi}} \quad W/(m^2.K) \quad (\text{Formule 24}) ;$$

Φ_{fi} : flux traversant le modèle du montant ou de la traverse i en W/m ;

ΔT : différence de température entre le milieu chaud et le milieu froid en K ;

U_{p1} : coefficient surfacique de transmission thermique du panneau isolant (avec une conductivité thermique de $0,035 W/m.K$) remplaçant le vitrage ou le panneau opaque, en $W/(m^2.K)$. Dans le cas de porte avec un panneau opaque comportant des parements métalliques ou un isolant de conductivité thermique inférieure à $0,035 W/m.K$, on pourra modéliser le panneau opaque réel afin d'intégrer le coefficient ψ_p au coefficient U_{fi} ;

b_p : longueur de panneau non recouverte par la menuiserie dans le modèle, en m ;

b_{fi} : longueur de la menuiserie dans le modèle, en m .

- A_{fi} : surface du montant ou de la traverse numéro i . La largeur des montants latéraux est supposée prolongée sur toute la hauteur de la fenêtre ;
- A_f : la plus grande surface de la menuiserie vue des deux côtés intérieur et extérieur, en m^2 ;
- Ψ_g : coefficient de transmission thermique linéique en $W/(m.K)$ dû à l'effet thermique entre le vitrage et la menuiserie ou entre le vitrage et le panneau opaque. ;
- l_g : le plus grand périmètre du vitrage vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi ;
- Ψ_p : coefficient de transmission thermique linéique en $W/(m.K)$ dû à l'effet thermique entre le panneau opaque et la menuiserie. Ce coefficient Ψ_p est considéré nul si il a été précédemment intégré dans le calcul du coefficient U_{fi} (cf. définition du coefficient U_{p1}) ;
- l_p : le plus grand périmètre du panneau opaque vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m .

Nota 1 : Le coefficient ψ_p est égal à zéro si la conductivité thermique du matériau des parements (intérieur et extérieur) et celle de tout matériau créant un pont thermique au bord du panneau a une valeur inférieure à $0,5 W/(m.K)$.

Nota:2 : Dans le cas, d'une porte palière, on considérera l'ambiance extérieure comme un local non chauffé avec $T_e=0^\circ C$ et $h_e=7,7 W/m^2.K$.

2.7.1.2 Porte industrielle ou porte de garage

Le coefficient de transmission surfacique moyen d'une porte industrielle ou d'une porte de garage peut être déterminé soit par calcul conformément à la méthode donnée ci-après (conforme à la norme NF EN ISO 12428), 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 portes.

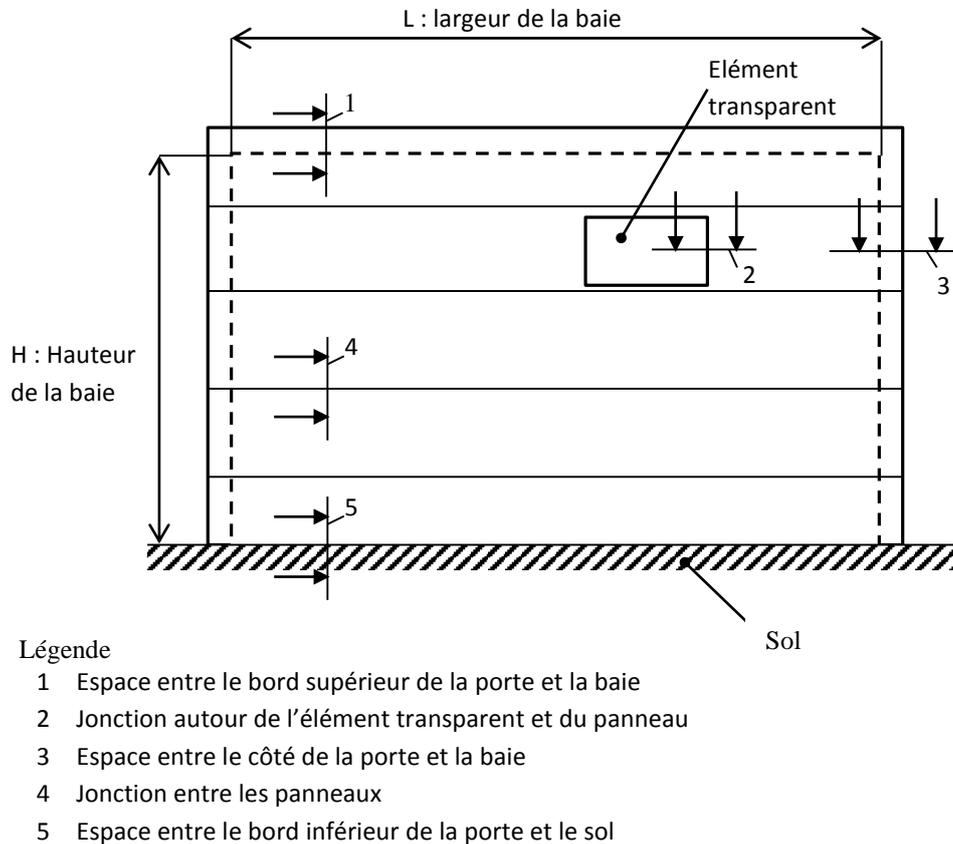


Figure 19 : Schéma d'une porte industrielle ou d'une porte de garage (vue de l'intérieur)

Le calcul du coefficient U_d d'une porte industrielle ou d'une porte de garage est réalisé selon la formule :

$$U_d = \frac{U_g A_g + U_p A_p + \Psi_{\text{jonction}} \ell_{\text{jonction}}}{A_g + A_p} + \Delta U_{tb} + h_c \quad \text{W}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad (\text{Formule 25}) ;$$

avec :

- U_g : coefficient surfacique de transmission thermique de la partie vitrée conformément, en $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$;
- A_g : la plus petite surface de l'élément transparent vue des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m^2 ;

- U_p : coefficient surfacique de transmission thermique de la partie opaque, en $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$;
- A_p : la plus petite surface de panneau opaque vue des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m^2 ;

- Ψ_{jonction} : coefficient de transmission thermique linéique, en $W/(m.K)$ dû à l'effet thermique entre le panneau opaque et le mur/le sol ou entre deux panneaux (opaque/opaque ou opaque/transparent) ;

$$\Psi_{\text{jonction_panneau/mur(sol)}} = \frac{\Phi_2}{\Delta T} - U_p \cdot l_p \quad W/(m.K) \quad (\text{Formule 26});$$

$$\Psi_{\text{jonction_panneau/panneau}} = \frac{\Phi_2}{\Delta T} - U_{p1} \cdot l_{p1} - U_{p2} \cdot l_{p2} \quad W/(m.K) \quad (\text{Formule 27});$$

Avec :

- Φ_2 : flux total à travers la section, obtenu par calcul numérique, en W/m ;
 - ΔT : la différence de température, en K ;
 - U_p, U_{p1}, U_{p2} : coefficient surfacique de transmission thermique du (ou des) panneau(x), en $W/(m^2.K)$;
 - l_p, l_{p1}, l_{p2} : la plus grande longueur visible du (ou des) panneau(x) vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi en m. Avec $l_p \geq 250 \text{ mm}$, $l_{p1} \geq 250 \text{ mm}$ et $l_{p2} \geq 250 \text{ mm}$.
- l_{jonction} : le plus grand périmètre de toutes les jonctions (éléments transparents, bord supérieur/inférieur /latéraux de la porte) vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi ;
- $\Delta U_{\text{tb}} + h_c$: l'effet des ponts thermiques (tb) et des éléments de quincaillerie (h_c), en $W/(m^2.K)$.
 $\Delta U_{\text{tb}} + h_c = 0,1 \text{ W}/(m^2.K)$

2.7.2 Facteur de transmission solaire S_d des portes

Quelle que soit la porte, dans le cas où elle comporte une partie vitrée, le facteur solaire S_d est à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

Quelle que soit la porte, dans le cas où celle-ci ne comporte pas de partie vitrée, le facteur solaire S_d est calculé d'après les formules suivantes :

$$S_d = \frac{\alpha \cdot U_d}{h_e}$$

Avec :

- α le coefficient d'absorption en partie courante de la porte
- h_e est le coefficient d'échange superficiel, pris égal à $25 \text{ W}/(m^2.K)$

2.7.3 Facteur de transmission lumineuse TL_d des portes

Quelle que soit la porte, dans le cas où elle comporte une partie vitrée, le de transmission lumineuse TL_d est à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

Quelle que soit la porte, dans le cas où celle-ci ne comporte pas de partie vitrée, le coefficient de transmission lumineuse TL_d est pris égal à 0.

2.8 Plaque de polycarbonate seule

2.8.1 Coefficient de transmission thermique U_t

Le coefficient surfacique U_t en partie centrale de la plaque translucide se calcule comme suit :

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 :

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

(Formule 28) ;

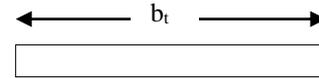


Figure 20 : Modèle numérique de la plaque translucide

où

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

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

b_t la longueur du modèle, en m.

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

2.8.2 Calcul du facteur de transmission solaire S_t

Les composantes courtes longueurs d'onde et réémission thermique du facteur solaire à incidence corrigée se calculent à partir du projet de norme EN 16153 et de la formule suivante :

$$S_{t1} = F_{iv-PCA}^{fs} \times \tau_{e,n-h} \quad (\text{Formule 29});$$

$$S_{t2} = F_{iv-PCA}^{fs} \times q_i \quad (\text{Formule 30});$$

Où :

- $\tau_{e,n-h}$: Transmission énergétique normale-hémisphérique de la plaque de polycarbonate, déterminée selon le projet de norme EN 16153
- q_i : Facteur de réémission thermique, déterminée selon le projet de norme EN 16153
- $F_{ivPCA_dir}^{fs}$ est le coefficient de correction pour la prise en compte de l'incidence variable sur le PCA horizontal, considéré identique pour les rayonnements directs et diffus, et pris égal à 0,85.

2.8.3 Calcul du facteur de transmission lumineuse TL_t

Les facteurs de transmission lumineuse de la plaque de polycarbonate seule, en incidence normale, sont les suivants :

$$TL_t = \tau_{v,n-h} \quad (\text{Formule 31});$$

$$TL_{t_dif} = \tau_{v,n-h} - \tau_{v,n-n} \quad (\text{Formule 32});$$

Où :

- $\tau_{v,n-h}$ est la transmission lumineuse normale-hémisphérique de la plaque de polycarbonate, déterminée selon le projet de norme EN 16153 ;
- $\tau_{v,n-n}$ est la transmission lumineuse normale-normale de la plaque de polycarbonate, déterminée selon le projet de norme EN 16153.

2.9 Lanterneaux

Les méthodes de calcul données ci-après s'appliquent, soit aux lanterneaux ponctuels et filants sans vitrage isolant additionnel et comportant une ou plusieurs plaques translucides à base de matière plastique, soit aux lanterneaux ponctuels avec vitrage additionnel.

2.9.1 Lanterneaux ponctuels sans vitrage isolant additionnel

2.9.1.1 Coefficient de transmission thermique U_w

Pour les lanterneaux ponctuels, la valeur déclarée U_{rc} doit être corrigée à partir du coefficient C , calculé suivant la formule ci-dessous :

$$U_{\text{utile}} = C \times U_{rc} \quad (\text{Formule 33});$$

$$C = A_{rc}/A_p \quad (\text{Formule 34});$$

A_{rc} et A_p étant respectivement la surface développée telle que définie dans la norme EN 1873 et la surface projetée du lanterneau, en m^2 .

U_{rc} étant la valeur déclarée de la transmission surfacique du lanterneau, déterminée conformément à la norme EN 1873 (cf. §. 1.4).

En l'absence de valeur U_{rc} , 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 dans le document Applications - Parois vitrées au §2.9.



Figure 21- Lanterneau ponctuel

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

$$U_w = \frac{U_t A_t + \psi_1 L_1 + \psi_2 L_2}{A_p} \quad (\text{Formule 35});$$

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 $W/(m^2.K)$, voir §2.8.1 :

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 $l_g = 190$ mm):

$$\Psi_1 = \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_t \times l_t \quad (\text{Formule 36}) ;$$

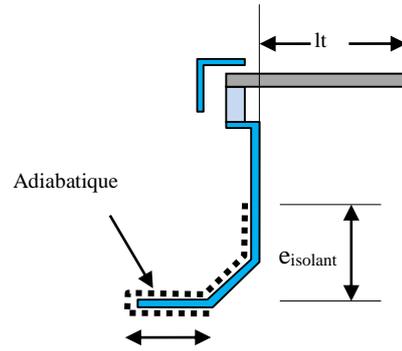


Figure 22 : Coupe transversale au niveau de la costière

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):

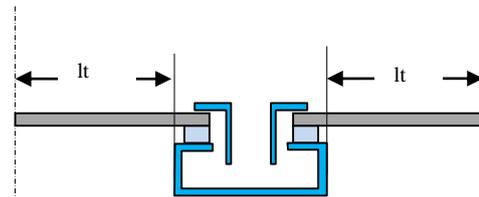


Figure 23 : Coupe transversale au niveau du profilé central

$$\Psi_2 = \frac{\Phi_2}{\Delta T} - 2 \times U_t \times l_t \quad (\text{Formule 37}).$$

2.9.1.2 Calcul du facteur de transmission solaire S_w

Les facteurs de transmission solaire déclarés dans le cadre du marquage CE se limitent aux caractéristiques des éléments de remplissage des lanterneaux. Pour tenir compte de l'effet des costières, les méthodes ci-après doivent être utilisées.

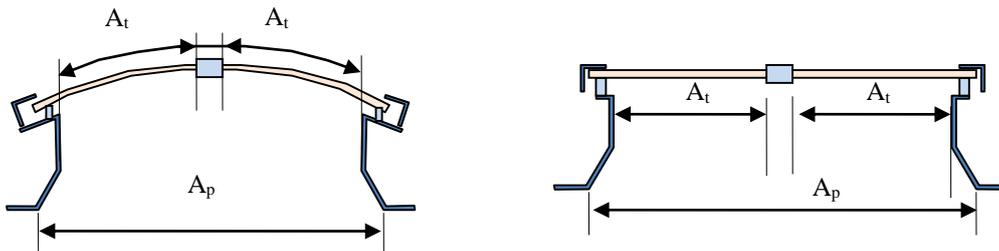


Figure 24 : Dimensions d'un lanterneau ponctuel

Le calcul du facteur de transmission solaire d'un lanterneau ponctuel se calcule par les formules suivantes :

$$S_{w1} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{t1} \quad (\text{Formule 38}) ;$$

$$S_{w2} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{t2} + \frac{\alpha_{e2} \cdot L_2 \cdot \Psi_2}{A_p \cdot h_e} + \frac{\alpha_{e1} \cdot L_1 \cdot \Psi_1}{A_p \cdot h_e} \cdot r_v \quad (\text{Formule 39}) ;$$

Où :

- **S_{t1}** est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde, déterminé au paragraphe 2.8.2 pour une paroi horizontale,
- **S_{t2}** est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur, déterminé au paragraphe 2.8.2 pour une paroi horizontale
- **A_t** est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide, vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m².
- **A_p** est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m².
- **h_e** est le coefficient de transmission thermique superficielle extérieur, calculé en conditions C.
- **r_v** est le rapport entre l'énergie solaire annuelle incidente sur les faces verticales de la costière et l'énergie solaire annuelle incidente sur la plaque horizontale.
- **L₁** est le périmètre intérieur de la costière, exprimé en m.
- **α_{e1}** est le coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière.
- **Ψ₁** est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière, exprimé en W/(m.K) et calculé selon le §2.9.1.1.
- **L₂** est la longueur du profil central pour des lanterneaux à deux vantaux, exprimée en m.
- **α_{e2}** est le coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé central, pour les lanterneaux à deux vantaux.
Ψ₂ est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé central, pour les lanterneaux à deux vantaux, exprimé en W/(m.K) et calculé selon le §2.9.1.1.

A défaut de valeurs disponibles, les valeurs suivantes peuvent être utilisées :

$$\alpha_{e1} = \alpha_{e2} = 0,60$$

$$h_e = 25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$r_v = 0,55$$

2.9.1.3 Calcul du facteur de transmission lumineuse Tl_i

2.9.1.3.1 Ensemble du lanterneau

Les facteurs de transmission lumineuse déclarés dans le cadre du marquage CE se limitent aux caractéristiques des éléments de remplissage des lanterneaux. Pour tenir compte de l'effet des costières et de la forme du lanterneau, les méthodes ci-après doivent être utilisées.

$$Tli_{sp,b} = F_{forme_LT} \cdot (R_{dir}^{fl} \cdot F_{cost_dir}^{fl} \cdot F_{rivLT_dir}^{fl} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F_{cost_dif}^{fl} \cdot F_{rivLT_dif}^{fl}) \times TL_t \quad (\text{Formule 40});$$

$$Tlid_{sp,b} = F_{forme_LT} \cdot (R_{dir}^{fl} \cdot F_{cost_dir}^{fl} \cdot F_{rivLT_dir}^{fl} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F_{cost_dif}^{fl} \cdot F_{rivLT_dif}^{fl}) \times TL_{t_dif} \quad (\text{Formule 41});$$

Où :

- F_{forme_LT} est le coefficient correctif pour prendre en compte une éventuelle variation de section du lanterneau le long de son axe vertical (§2.9.1.3.3) ;
- $F_{cost_dir}^{fl}$ et $F_{cost_dif}^{fl}$ sont les coefficients de correction associés à la costière, calculés selon la procédure décrite au §2.9.1.3.2;
- $F_{rivLT_dir}^{fl}$ et $F_{rivLT_dif}^{fl}$ sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairage incident direct et diffus sur le polycarbonate, calculés selon la procédure décrite au §2.9.1.3.2.1 ;
- R_{dir}^{fl} est la part annuelle de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global de la baie, déterminé par interpolation entre les valeurs du Tableau XXXIV (§3.3.2.1).

On introduit trois grandeurs caractéristiques du lanterneau permettant de corriger ses facteurs de transmission lumineuse :

- l'indice de lanterneau K , caractérisant ses dimensions au même titre que le coefficient de forme du contour de la baie dans le cas courant :

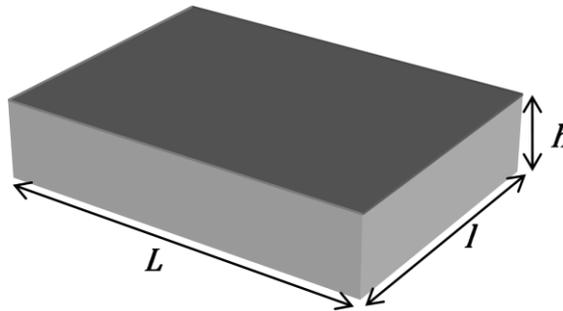


Figure 25 : Dimensions du lanterneau

$$K = \frac{L \cdot l}{h \cdot (L + l)} \quad (\text{Formule 42});$$

Où :

- o L et l sont la largeur et la longueur de la baie (au nu intérieur) couverte par le lanterneau, exprimées en m,
- o h est la hauteur complète du lanterneau du nu intérieur jusqu'au polycarbonate, en m.

- le facteur de réflexion lumineuse ρ_{LT} des parois intérieures du lanterneau (costière) ou du puits de lumière,
- le ratio Rat_{LT} , caractérisant l'évasement du lanterneau :

$$Rat_{LT} = 100 \times \frac{A_{PCA}}{L \times l} \quad (\%) \quad (\text{Formule 43}) ;$$

Où A_{PCA} est la surface de la partie supérieure du lanterneau, intégrant le polycarbonate, exprimée en m².

Note : les valeurs retenues pour l'indice K sont : 0,25, 0,5, 0,75, 1, 2 et 5. Les trois dernières valeurs correspondent vraiment à des lanterneaux (standard pour K = 5 et avec costière haute pour K=1) alors que les trois premières correspondent à des puits de lumière (à section carrée ou rectangulaire et avec revêtement de paroi non spéculaire).

2.9.1.3.2 Prise en compte de la costière du lanterneau

Comme pour les cas courants de parois vitrées, on distingue ce qui est relatif au soleil ($F^{l}_{cost_dir}$) de ce qui est relatif au ciel et au sol ($F^{l}_{cost_dif}$). Les coefficients sont donnés pour une costière droite, la correction associée à la forme du lanterneau étant traitée à part.

Tableau XI : Valeurs du coefficient de prise en compte de la costière pour le rayonnement direct (soleil) $F^{l}_{cost_dir}$ selon la valeur de K et du facteur de réflexion ρ

Valeur du facteur de réflexion ρ	Valeur du K du lanterneau (ou du puits)					
	0,25	0,5	0,75	1	2	5 ou plus
0,1	0	0,15	0,30	0,40	0,65	0,85
0,3	0,05	0,20	0,35	0,45	0,70	0,85
0,6	0,05	0,30	0,40	0,55	0,75	0,90

Tableau XII : Valeurs du coefficient de prise en compte de la costière pour le rayonnement diffus (ciel et sol) $F^{l}_{cost_dif}$ selon la valeur de K et du facteur de réflexion ρ

Valeur du facteur de réflexion ρ	Valeur du K du lanterneau (ou du puits)					
	0,25	0,5	0,75	1	2	5 ou plus
0,1	0,10	0,25	0,35	0,45	0,65	0,85
0,3	0,10	0,25	0,40	0,50	0,70	0,85
0,6	0,15	0,35	0,45	0,55	0,75	0,90

2.9.1.3.2.1 Prise en compte de l'incidence variable sur le polycarbonate

Les coefficients de correction pour prise en compte de l'incidence variable sur le polycarbonate horizontal sont pris égaux aux valeurs suivantes :

$$F^{fl}_{rivLT_dir} = 0,85$$

$$F^{fl}_{rivLT_dif} = 0,85$$

Note : pour représenter la transmission directe du PCA "clair", on se réfère à la courbe générique de la Figure 26.

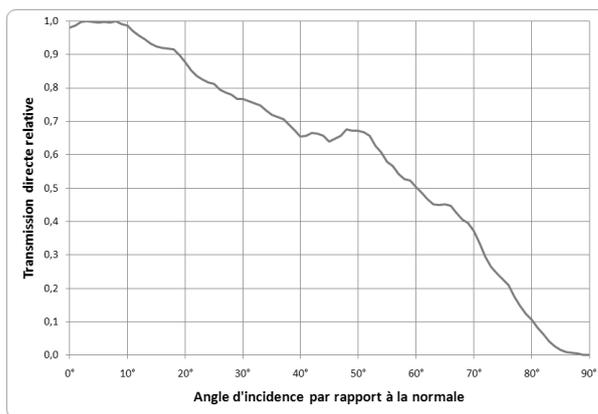


Figure 26 : Courbe générique pour la transmission directe du PCA "clair"

2.9.1.3.3 Prise en compte de la forme du lanterneau

Les profils d'évasement sont considérés progressifs le long de l'axe vertical du dispositif :

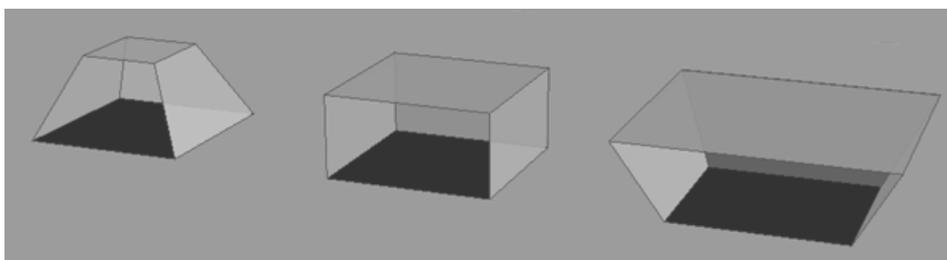


Figure 27 : Profils d'évasement de lanterneaux

Les dimensions de la partie haute sont comprises entre 50 % et 150 % des dimensions de la baie (le cas 100 % correspond au lanterneau à costière droite). On considère un ratio identique pour la largeur et la longueur

Tableau XIII : Facteur correctif F_{forme_LT} à appliquer en fonction de l'évasement du lanterneau

K	Facteur de réflexion ρ_{LT}	Ratio d'évasement Rat_{LT} (en %)				
		50	75	100	125	150
1 (ou moins)	0,10	0,30	0,65	1	1,40	1,70
	0,30				1,35	1,65
	0,60				1,30	1,55
2	0,10				1,25	1,40
	0,30				1,25	1,40
	0,60				1,25	1,35
5 (ou plus)	De 0,10 à 0,60			1,15	1,15	

2.9.2 Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel

2.9.2.1 Coefficient de transmission thermique U_w

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.

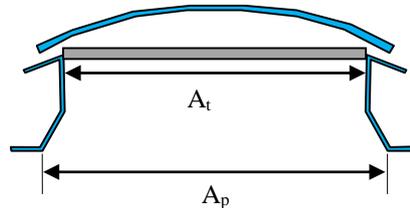


Figure 28 : Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel

Le coefficient de transmission thermique U_w des lanterneaux ponctuels équipés d'un vitrage isolant additionnel se calcule d'après la formule suivante :

$$U_w = \frac{U_t A_t + \Psi_c L_c}{A_p} \quad (\text{Formule 44}) ;$$

où :

A_t est la plus petite des aires développées visibles du vitrage isolant vue des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 ;

L_c est le périmètre intérieur de la costière, exprimé 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 de transmission thermique en partie centrale de l'ensemble dôme et vitrage isolant, exprimé en $W/(m^2.k)$. Il est calculé suivant la méthode ci-dessous ;

Ψ_c est le coefficient de transmission thermique linéique à-travers la costière et l'intercalaire du vitrage isolant, exprimé en $W/(m.K)$ et calculé selon les normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, en négligeant l'effet du dôme et en considérant la surface extérieure du vitrage comme fortement ventilée.

Le coefficient de transmission thermique U_t de l'ensemble dôme et vitrage isolant dépend du coefficient de transmission thermique du vitrage isolant U_g déterminé à l'horizontale avec un flux ascendant selon la norme NF EN 673 et de la présence ou non de joints mousses assurant le contact entre le dôme et le vitrage isolant :

- Sans joint mousse :

$$U_t = U_{tv} = \frac{1}{\frac{1}{U_g} + 0,06} \quad (\text{Formule 45}) ;$$

Avec joint mousse :

$$U_t = U_{tn} = \frac{1}{\frac{1}{U_g} + \frac{1}{h_g + h_r}} \quad (\text{Formule 46}) ;$$

Où h_r et h_g se calculent à l'aide de la norme NF EN 673 pour un flux thermique ascendant et une épaisseur de cavité égale à l'épaisseur moyenne du dôme. Pour des épaisseurs moyennes de cavité supérieures à 15 mm :

$$\frac{1}{h_g + h_r} = 0,16 \text{ m}^2.K/W$$

2.9.2.2 Calcul du facteur de transmission solaire S_w

La méthode de calcul donnée ci-après s'applique aux lanterneaux ponctuels équipés d'un dôme translucide à base de matière plastique et d'un vitrage isolant avec remplissage air ou gaz.

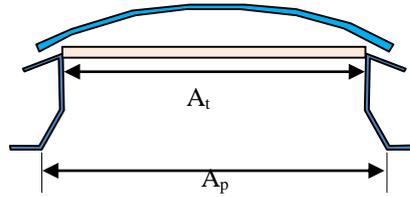


Figure 29 : Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel

Le facteur de transmission solaire S_w des lanterneaux ponctuels équipés d'un vitrage isolant additionnel se calcule d'après les formules suivantes :

$$S_{w1} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{t1}$$

$$S_{w2} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{t2} + \left(\frac{\alpha_{ec} \cdot L_c \cdot \Psi_c}{A_p \cdot h_e} \right) \cdot r_v \text{ (Formule 47) ;}$$

$$S_w = S_{w1} + S_{w2}$$

où :

- S_{t1} est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde de l'ensemble dôme + vitrage isolant, déterminé au paragraphe 2.9.2.2.2.
- S_{t2} est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur de l'ensemble dôme + vitrage isolant, déterminé au paragraphe 2.9.2.2.3.
- A_t est la plus petite des aires développées visibles du vitrage isolant, vue 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 .
- r_v est le rapport entre l'énergie solaire annuelle incidente sur les faces verticales de la costière et l'énergie solaire annuelle incidente sur la plaque horizontale. A défaut de valeurs disponibles : $r_v = 0.55$.
- α_{ec} est le coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière.
- L_c est le périmètre intérieur de la costière, exprimé en m.
- Ψ_c est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière et l'intercalaire du vitrage isolant, exprimé en $W/(m.K)$ et calculé selon le paragraphe selon les normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, en négligeant l'effet du dôme et en considérant la surface extérieure du vitrage comme fortement ventilée.
- h_e est le coefficient de transmission thermique superficielle extérieur.

2.9.2.2.1 Composante $S_{t1,d}$ du dôme

La composante courte longueur d'onde du facteur solaire du dôme se calcule à partir du projet de norme prEN 16153 et de la formule suivante :

$$S_{t1,d} = F_{iw-PCA}^{fs} \times \tau_{e,n-h} \quad (\text{Formule 48}) ;$$

où :

F_{iw-PCA}^{fs} est le coefficient de correction pour la prise en compte de l'incidence variable sur le dôme horizontal, considéré identique pour les rayonnements directs et diffus est pris égal à 0,85.

$\tau_{e,n-h}$ est le coefficient de transmission énergétique normal-hémisphérique de la plaque en matière plastique, déterminé selon le projet de norme prEN 16153.

2.9.2.2.2 Composante S_{t1} de l'ensemble dôme et vitrage isolant

La composante courte longueur d'onde du facteur solaire de l'ensemble dôme et vitrage isolant se calcule en assimilant l'ensemble à un triple vitrage. L'application de la norme EN 410 permet de calculer le coefficient S_{t1} d'après la formule suivante :

$$S_{t1} = \frac{S_{t1,d} \cdot \tau_{e1} \cdot \tau_{e2}}{[1 - \rho'_{ed} \cdot \rho_{e1}][1 - \rho'_{e1} \cdot \rho_{e2}] - \tau_{e1}^2 \cdot \rho'_{ed} \cdot \rho_{e2}} \quad (\text{Formule 49}) ;$$

où :

$S_{t1,d}$ est le coefficient de transmission énergétique du dôme, calculé au §2.9.2.2.1

τ_{e1} est le coefficient de transmission énergétique du premier verre du vitrage isolant (entre le dôme et le verre intérieur).

τ_{e2} est le coefficient de transmission énergétique du second verre du vitrage isolant (verre intérieur).

ρ'_{ed} est le coefficient de réflexion énergétique vers l'intérieur du dôme.

ρ_{e1} est le coefficient de réflexion énergétique vers l'extérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).

ρ'_{e1} est le coefficient de réflexion énergétique vers l'intérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).

ρ_{e2} est le coefficient de réflexion énergétique vers l'extérieur du second verre (verre intérieur).

2.9.2.2.3 Composante S_{t2} de l'ensemble dôme et vitrage isolant

La composante du facteur de transmission solaire réémise vers l'intérieur S_{t2} de l'ensemble dôme et vitrage isolant dépend du coefficient de transmission thermique du vitrage isolant U_g et de la composante réémise du facteur de transmission solaire du vitrage isolant S_{g2} déterminés à l'horizontale avec un flux ascendant selon la norme NF EN 673, de la présence ou non de joints mousses assurant le contact entre le dôme et le vitrage isolant :

- Sans joint mousse :

$$S_{t2} = S_{t1,d} \cdot S_{g2} \quad (\text{Formule 50}) ;$$

où :

$S_{t1,d}$ est le coefficient de transmission énergétique du dôme, calculé au §2.9.2.2.1.

S_{g2} est la composante réémise vers l'intérieur du facteur de transmission solaire du vitrage isolant, calculée selon la norme EN 410 (noté q_i dans cette norme) avec un flux ascendant

- Avec joint mousse :

$$S_{t2} = \frac{\left(\frac{1}{U_g} - 0.14\right) \cdot \alpha_{e2} + \frac{\alpha_{e2} + \alpha_{e1}}{h_g + h_r} + \frac{\alpha_{e2} + \alpha_{e1} + \alpha_{ed}}{25}}{\frac{1}{h_g + h_r} + \frac{1}{U_g}} \quad \text{(Formule 51) ;}$$

où :

α_{e1} est le coefficient d'absorption solaire du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur), déterminé selon la norme EN 410.

α_{e2} est le coefficient d'absorption solaire du second verre, déterminé selon la norme EN 410.

α_{ed} est le coefficient d'absorption solaire du dôme, déterminé selon la norme EN 410

U_g est le coefficient de transmission thermique du vitrage isolant déterminé à l'horizontale avec flux ascendant et exprimé en $W/(m^2.K)$.

Où h_r et h_g se calculent à l'aide de la norme EN 410 pour un flux thermique ascendant et une épaisseur de cavité égale à l'épaisseur moyenne du dôme. Pour des épaisseurs moyennes de cavité supérieures à 15 mm :

$$\frac{1}{h_g + h_r} = 0.16 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

2.9.2.3 Calcul du facteur de transmission lumineuse T_{li}

La méthode de calcul donnée ci-après s'applique aux lanterneaux ponctuels équipés d'un dôme translucide à base de matière plastique et d'un vitrage isolant avec remplissage air ou gaz.

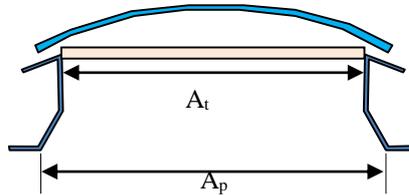


Figure 30 : Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel

Le facteur de transmission lumineuse T_{li} des lanterneaux ponctuels équipés d'un vitrage isolant additionnel se calcule d'après les formules suivantes :

$$T_{li_{sp,b}} = F_{forme_{LT}} \cdot (R_{dir}^{\text{fl}} \cdot F_{cost_{dir}}^{\text{fl}} \cdot F_{rivLT_{dir}}^{\text{fl}} + (1 - R_{dir}^{\text{fl}}) \cdot F_{cost_{dif}}^{\text{fl}} \cdot F_{rivLT_{dif}}^{\text{fl}}) \cdot TL_t \quad \text{(Formule 52) ;}$$

$$T_{li_{dif,b}} = F_{forme_{LT}} \cdot (R_{dir}^{\text{fl}} \cdot F_{cost_{dir}}^{\text{fl}} \cdot F_{rivLT_{dir}}^{\text{fl}} + (1 - R_{dir}^{\text{fl}}) \cdot F_{cost_{dif}}^{\text{fl}} \cdot F_{rivLT_{dif}}^{\text{fl}}) \cdot TL_{t_{dif}}$$

où :

$F_{forme_{LT}}$, R_{dir}^{fl} , $F_{cost_{dir}}^{\text{fl}}$, $F_{rivLT_{dir}}^{\text{fl}}$, $F_{cost_{dif}}^{\text{fl}}$, $F_{rivLT_{dif}}^{\text{fl}}$ sont des coefficients de correction déterminés à partir du paragraphe §2.9.1.3.

2.9.2.3.1 Facteur de transmission lumineuse TL_t de l'ensemble dôme et vitrage isolant

Le facteur de transmission lumineuse de l'ensemble dôme et vitrage isolant se calcule en assimilant l'ensemble à un triple vitrage. L'application de la norme EN 410 permet de calculer le coefficient TL_t d'après la formule suivante :

$$TL_t = \frac{\tau_{vd} \cdot \tau_{v1} \cdot \tau_{v2}}{[1 - \rho'_{vd} \cdot \rho_{v1}][1 - \rho'_{v1} \cdot \rho_{v2}] - \tau_{v1}^2 \cdot \rho'_{vd} \cdot \rho_{v2}} \quad (\text{Formule 53}) ;$$

où :

- τ_{vd} est le coefficient de transmission visible du dôme
- τ_{v1} est le coefficient de transmission visible du premier verre du vitrage isolant (entre le dôme et le verre intérieur).
- τ_{v2} est le coefficient de transmission visible du second verre du vitrage isolant (verre intérieur).
- ρ'_{vd} est le coefficient de réflexion visible vers l'intérieur du dôme.
- ρ_{v1} est le coefficient de réflexion visible vers l'extérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).
- ρ'_{v1} est le coefficient de réflexion visible vers l'intérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).
- ρ_{v2} est le coefficient de réflexion visible vers l'extérieur du second verre (verre intérieur).

2.9.2.3.2 Facteur de transmission lumineuse $TL_{t,dif}$ de l'ensemble dôme et vitrage isolant

La composante diffusée du facteur de transmission lumineuse de l'ensemble dôme et vitrage isolant se calcule en assimilant l'ensemble à un triple vitrage. L'application de la norme EN 410 permet de calculer le coefficient $TL_{t,dif}$ d'après la formule suivante :

$$TL_{t,dif} = \frac{\tau_{vd,dif} \cdot \tau_{v1} \cdot \tau_{v2}}{[1 - \rho'_{vd} \cdot \rho_{v1}][1 - \rho'_{v1} \cdot \rho_{v2}] - \tau_{v1}^2 \cdot \rho'_{vd} \cdot \rho_{v2}} \quad (\text{Formule 54}) ;$$

où :

- $\tau_{vd,dif}$ est la composante diffusée du coefficient de transmission visible du dôme
- τ_{v1} est le coefficient de transmission visible du premier verre du vitrage isolant (entre le dôme et le verre intérieur).
- τ_{v2} est le coefficient de transmission visible du second verre du vitrage isolant (verre intérieur).
- ρ'_{vd} est le coefficient de réflexion visible vers l'intérieur du dôme.
- ρ_{v1} est le coefficient de réflexion visible vers l'extérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).
- ρ'_{v1} est le coefficient de réflexion visible vers l'intérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).
- ρ_{v2} est le coefficient de réflexion visible vers l'extérieur du second verre (verre intérieur).

2.9.3 Lanterneaux filants sans vitrage isolant additionnel

2.9.3.1 Coefficient de transmission thermique U_w

Pour les lanterneaux filants, la valeur U_w déclaré doit être corrigée à partir du coefficient C, calculé suivant la formule ci-dessous :

$$U_w \text{ utile} = C \times U_w \text{ déclaré} \quad (\text{Formule 55});$$

$$C = A_d / A_p \quad (\text{Formule 56});$$

A_d et A_p étant respectivement la surface développée et la surface projetée du lanterneau, en m^2 .

U_w déclaré étant la valeur déclarée de la paroi vitrée. Elle est déterminée conformément aux normes européennes utilisés pour le marquage CE des parois concernées.

En l'absence de valeur U_d déclaré, 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.

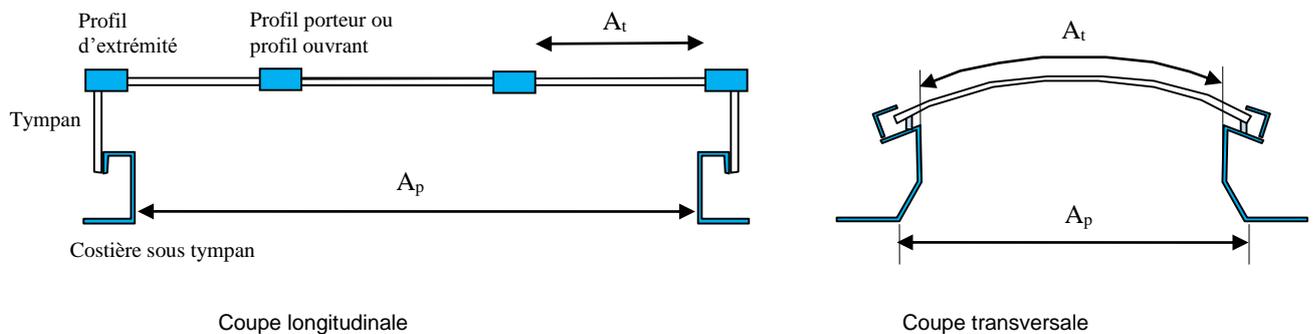


Figure 31- Lanterneau filant

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

$$U_w = \frac{\sum U_t A_t + \psi_1 L_1 + \psi_2 L_2 + \psi_3 L_3 + \psi_4 L_4}{A_p} \quad (\text{Formule 57});$$

- 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 tympan 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 2.8.1.

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 $l_g = 190$ mm):

$$\Psi_1 = \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_t \times l_t \quad (\text{Formule 58}) ;$$

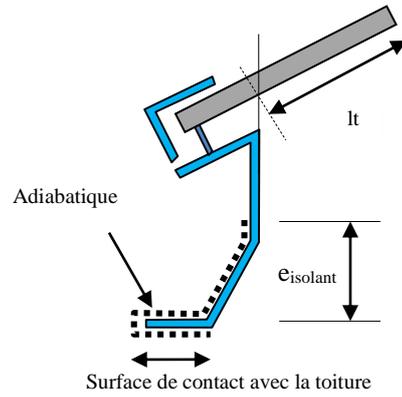


Figure 32- Coupe transversale au niveau de la costière

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):

$$\Psi_2 = \frac{\Phi_2}{\Delta T} - 2 \times U_t \times l_t \quad (\text{Formule 59}) ;$$

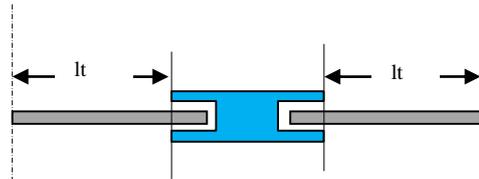


Figure 33 - Coupe transversale au niveau du profil porteur ou profil ouvrant

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):

$$\Psi_3 = \frac{\Phi_3}{\Delta T} - (U_{t1} + U_{t2}) \times l_t \quad (\text{Formule 60}) ;$$

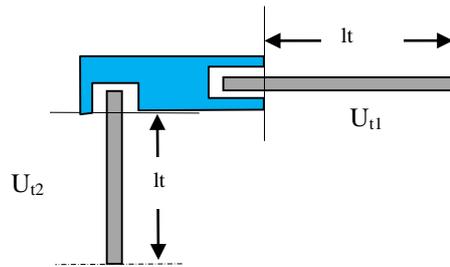


Figure 34 - Coupe transversale au niveau du profil d'extrémité

Ψ_4 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière sous tympan, exprimé en $W/(m.K)$. Ψ_4 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_t = 190$ mm):

$$\Psi_4 = \frac{\Phi_4}{\Delta T} - U_t \times l_t \quad (\text{Formule 61}) ;$$

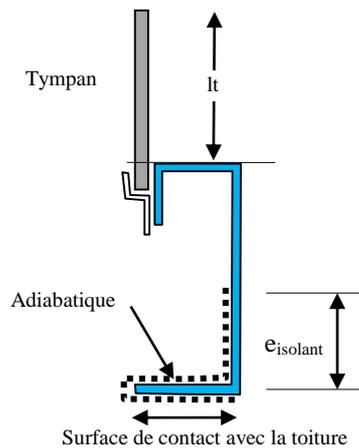


Figure 35 - Coupe transversale au niveau de la costière sous tympan

2.9.3.2 Calcul du facteur de transmission solaire S_w

Les facteurs de transmission solaire déclarés dans le cadre du marquage CE se limitent aux caractéristiques des éléments de remplissage des lanterneaux. Pour tenir compte de l'effet des costières, les méthodes ci-après doivent être utilisées.

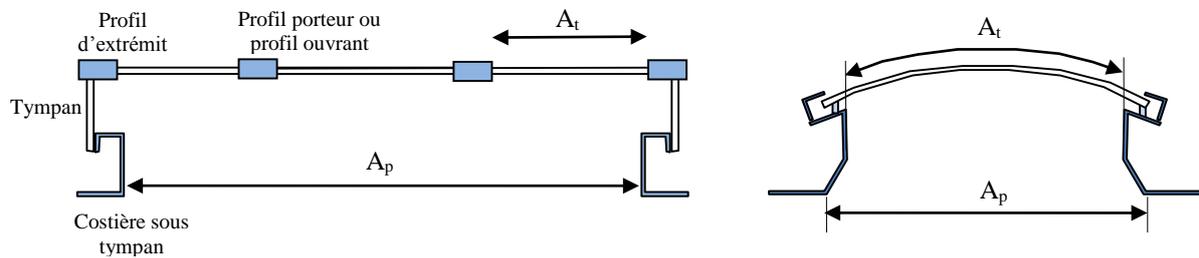


Figure 36 : Dimensions d'un lanternneau filant

Le calcul du facteur de transmission solaire d'un lanternneau filant se calcule par les formules suivantes :

$$S_{w1} = \frac{\sum_i A_{t,i} \times S_{t1,i}}{A_p} \quad \text{(Formule 62) ;}$$

$$S_{w1} = \frac{\sum_i A_{t,i} \times S_{t2,i}}{A_p} + \frac{\alpha_{e2} \cdot L_2 \cdot \Psi_2 + \alpha_{e3} \cdot L_3 \cdot \Psi_3}{A_p \cdot h_e} + \left(\frac{\alpha_{e1} \cdot L_1 \cdot \Psi_1 + \alpha_{e4} \cdot L_4 \cdot \Psi_4}{A_p \cdot h_e} \right) \cdot r_v \quad \text{(Formule 63) ;}$$

Où :

- $S_{t1,i}$ est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde de chaque plaque i , déterminé au paragraphe 2.8.2 en fonction de son orientation
- $S_{t2,i}$ est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur de chaque plaque i , déterminé au paragraphe 2.8.2 en fonction de son orientation
- $A_{t,i}$ est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide i , vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 .
- A_p est l'aire intérieure du lanternneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m^2 .
- h_e est le coefficient de transmission thermique superficielle extérieur, calculé en condition hivernale.
- r_v est le rapport entre l'énergie solaire annuelle incidente sur les faces verticales de la costière et l'énergie solaire annuelle incidente sur la plaque horizontale.
- L_1 est le périmètre intérieur de la costière longitudinale, exprimé en m.
- α_{e1} est le coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière longitudinale.
- Ψ_1 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière longitudinale, exprimé en $W/(m.K)$.
- L_2 est la longueur du profilé porteur ou le profilé ouvrant, exprimée en m.

- α_{e2} est le coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé porteur ou du profilé ouvrant. Ψ_2 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé porteur ou le profilé ouvrant, exprimé en $W/(m.K)$
- L_3 est la longueur du profilé d'extrémité, exprimée en m.
- α_{e3} est le coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé d'extrémité.
- Ψ_3 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé d'extrémité, exprimé en $W/(m.K)$.
- L_4 est le périmètre intérieur de la costière sous tympan, exprimée en m.
- α_{e4} est le coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière sous tympan,
- Ψ_4 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière sous tympan, exprimé en $W/(m.K)$.

A défaut de valeurs disponibles, les valeurs suivantes peuvent être utilisées :

$$\alpha_{e1} = \alpha_{e2} = \alpha_{e3} = \alpha_{e4} = 0,60$$

$$h_e = 25 W/(m^2.K)$$

$$r_v = 0,55$$

2.9.3.3 Calcul du facteur de transmission lumineuse T_l

Les facteurs de transmission lumineuse déclarés dans le cadre du marquage CE se limitent aux caractéristiques des éléments de remplissage des lanterneaux. Pour tenir compte de l'effet des costières et de la forme du lanterneau, les méthodes du §2.9.1.3. doivent être utilisées.

2.10 Bardages et couvertures en polycarbonate

Les seuls éléments traités dans ce chapitre sont les bardages ou les couvertures constitués de plaques de polycarbonate maintenues par des profilés (connecteurs ou autres) de manière à constituer une couche séparative entre l'ambiance intérieure et extérieure.

En particulier, les bardages double-peau ventilés naturellement ou mécaniquement ne sont pas traités.

Les hypothèses suivantes sont de plus appliquées :

- Les profilés de jonctions entre plaques sont considérés comme opaques
- L'influence des éléments de fixation ponctuels est négligée

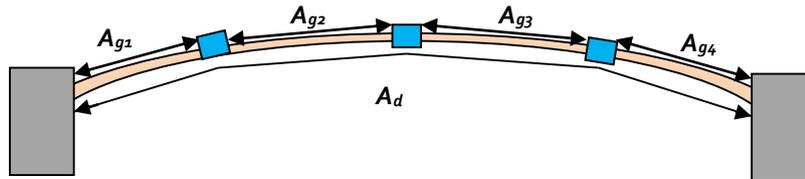


Figure 37 : Dimensions des verrières et bardages en polycarbonate

2.10.1 Facteur de transmission solaire S_w des bardages et des couvertures en polycarbonate

Le calcul du facteur de transmission solaire d'un bardage ou d'une couverture en polycarbonate, sans protection solaire, se fait par les formules suivantes :

$$S_{w1} = \frac{\sum_i A_{g,i} \times S_{t1,i}}{A_d} \quad (\text{Formule 64}) ;$$

$$S_{w1} = \frac{\sum_i A_{g,i} \times S_{t2,i}}{A_d} + \frac{\alpha_{ef} \cdot L_f \cdot \Psi_f}{A_d \cdot h_e} \quad (\text{Formule 65}) ;$$

Où :

- $S_{t1,i}$ est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde de chaque plaque i , déterminé au paragraphe 2.8.2 en fonction de son orientation
- $S_{t2,i}$ est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur de chaque plaque i , déterminé au paragraphe 2.8.2 en fonction de son orientation
- $A_{g,i}$ est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide i , vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 .
- A_d est l'aire intérieure développée des éléments de bardage ou de couverture, sans tenir compte des éléments de fixation latéraux, exprimée en m^2 .
- h_e est le coefficient de transmission thermique superficielle extérieur, calculé en condition hivernale.
- L_f est la longueur du profilé d'emboîtement, exprimé en m .
- α_{ef} est le coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé d'emboîtement
- Ψ_f est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé d'emboîtement, exprimé en $W/(m.K)$.

A défaut de valeurs disponibles, les valeurs suivantes peuvent être utilisées :
 $\alpha_{ef} = 0,60$ et $h_e = 25 \text{ W}/(m^2.K)$

2.11 Parois en briques de verre

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.

2.11.1 Coefficient de transmission thermique U_w d'une paroi en brique de verre

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

$$U_w = U_g + \Delta U \quad (\text{Formule 66}) ;$$

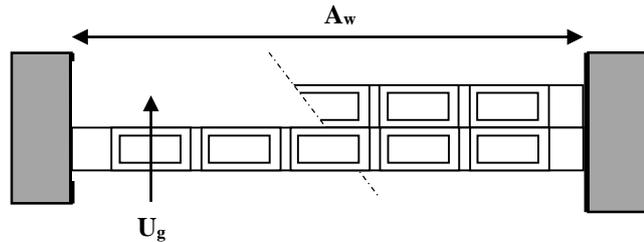


Figure 38 – Coupe horizontale

$$\Delta U = \frac{\Psi_1 \cdot L_1 + \Psi_2 \cdot L_2}{A_w} \quad (\text{Formule 67}) ;$$

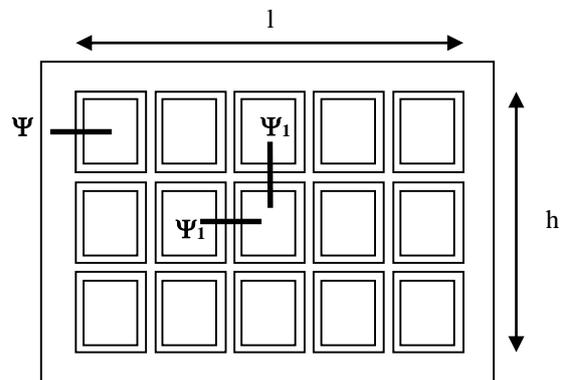


Figure 39 – Vue de face d'un panneau

Où

U_g est le coefficient de transmission surfacique en partie courante de la brique de verre calculé selon la norme NF EN 673 ;

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 dans le document Méthodes - Ponts thermiques.

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 :

$$U_w = \frac{\phi}{\Delta T A_w} \quad (\text{Formule 68}) ;$$

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.

Des valeurs par défaut des coefficients U_g , Ψ_1 et Ψ_2 sont disponibles dans le document Applications - Parois vitrées au §2.10.

2.12 Conduits de lumière

2.12.1 Coefficient de transmission U_{CL} d'un conduit de lumière

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

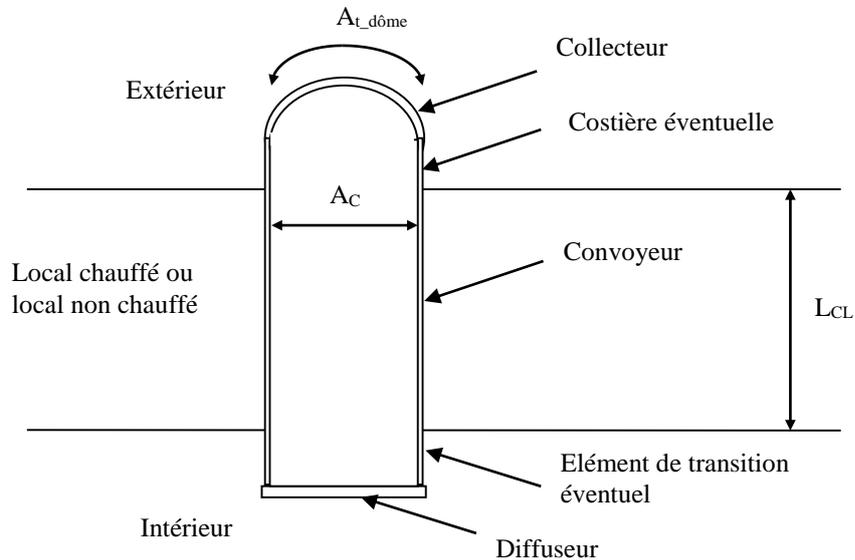


Figure 40 - Conduit de lumière

2.12.1.1 Conduits de lumière traversant un local non chauffé

Les coefficients de transmission surfacique à travers le conduit de lumière U_{CL} sont calculés comme suit :

$$U_{CL} = U_{diff} \cdot b' \quad \text{en W/m}^2\cdot\text{K} \quad \text{(Formule 69) ;}$$

Où

U_{diff} est le coefficient de transmission surfacique du diffuseur, exprimé en $W/(m^2\cdot K)$;

b' est le coefficient de réduction des déperditions à l'intérieur du conduit de lumière, déterminé d'après la formule suivante :

$$b' = \frac{T_i - T_{CL}}{T_i - T_e} \quad \text{(Formule 70) ;}$$

T_i est la température intérieure fixée par convention à 20 °C ;

T_e est la température extérieure fixée par convention à 0°C ;

T_{CL} est la température à l'intérieur du conduit de lumière déterminée à partir de la relation suivante :

$$T_{CL} = \frac{U_{dôme} \cdot A_{CL} \cdot T_e + U_{conv} \cdot A_{conv} \cdot T_{LNC} + U_{diff} \cdot A_{CL} \cdot T_i}{U_{dôme} \cdot A_{CL} + U_{diff} \cdot A_{CL} + U_{conv} \cdot A_{conv}} \quad \text{(Formule 71) ;}$$

Où

T_{LNC} est la température dans le local non chauffé calculé à partir du coefficient de réduction de température b du local non chauffé déterminé d'après le fascicule Généralités, avec ($T_e = 0^\circ\text{C}$ et $T_i = 20^\circ\text{C}$), exprimée en K ;

A_{CL} est la surface projetée du conduit de lumière (section du conduit), exprimée en m^2 et calculé à partir de la relation suivante :

$$A_{CL} = \pi \cdot \frac{D_{CL}^2}{4} \quad (\text{Formule 72}) ;$$

A_{conv} est la surface déperditive du convoyeur, exprimée en m^2 et calculée à partir de la relation suivante :

$$A_{conv} = \pi \cdot D_{CL} \cdot L_{CL} \quad (\text{Formule 73}) ;$$

Où

D_{CL} est le diamètre intérieur du conduit de lumière, exprimé en m ;

L_{CL} est la longueur du conduit de lumière, exprimé en m

Nota : Dans le cas d'un conduit de lumière non isolé et pour des longueurs supérieures à 1 mètre, il est possible de calculer la déperdition en remplaçant le coefficient de réduction b' par le coefficient de réduction b des déperditions du local non chauffé, déterminé d'après le fascicule Généralités.

Les coefficients de transmission surfacique du collecteur $U_{collecteur}$ et du diffuseur U_{diff} intègrent la déperdition à travers le profil de rive et se calculent à partir des relations suivantes :

$$U_{collecteur} = \frac{U_{t_collecteur} \cdot A_{t_collecteur} + \psi_{collecteur} \cdot P_{CL}}{A_{CL}} \quad \text{W}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad (\text{Formule 74}) ;$$

$$U_{diff} = \frac{U_{t_diff} \cdot A_{t_diff} + \psi_{diff} \cdot P_{CL}}{A_{CL}} \quad \text{W}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad (\text{Formule 75}) ;$$

Où

$U_{t_collecteur}$ est le coefficient de transmission thermique surfacique en partie courante du remplissage du collecteur, exprimé en $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$;

$A_{t_collecteur}$ est la surface développée du remplissage du collecteur, exprimée en m^2 ;

$\psi_{collecteur}$ est le coefficient de transmission linéique du profil de rive du collecteur incluant l'élément de costière éventuel, exprimé en $\text{W}/(\text{m}.\text{K})$. $\psi_{collecteur}$ est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_t = 190 \text{ mm}$ et $l_c = 1 \text{ m}$) :

$$\psi_{collecteur} = \frac{\varphi_t}{\Delta T} - U_{t_collecteur} \times l_t \quad (\text{Formule 76}) ;$$

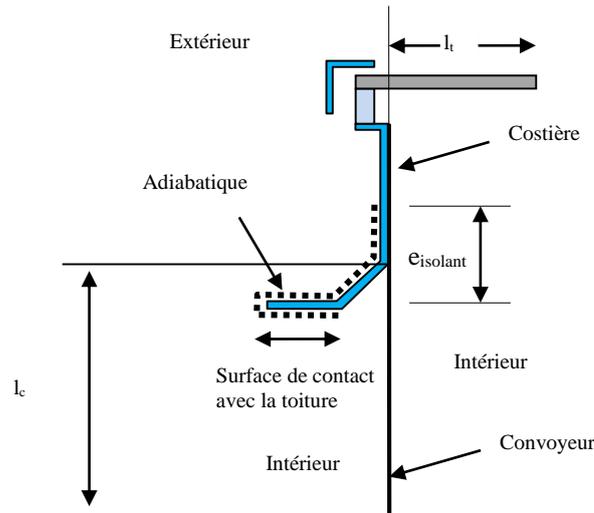


Figure 41 – Coupe du profil de rive du collecteur

U_{t_diff} est le coefficient de transmission thermique surfacique en partie courante du remplissage du diffuseur, exprimé en $W/(m^2.K)$;

A_{t_diff} est la surface développée du remplissage du diffuseur, exprimée en m^2 ;

ψ_{diff} est le coefficient de transmission linéique du profil de rive du diffuseur incluant l'effet de l'élément de transition éventuel, exprimé en $W/(m.K)$. ψ_{diff} est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_t = 190$ mm et $l_c = 1$ m) :

$$\psi_{diff} = \frac{\phi_1}{\Delta T} - U_{t_diff} \times l_t \quad (\text{Formule 77}) ;$$

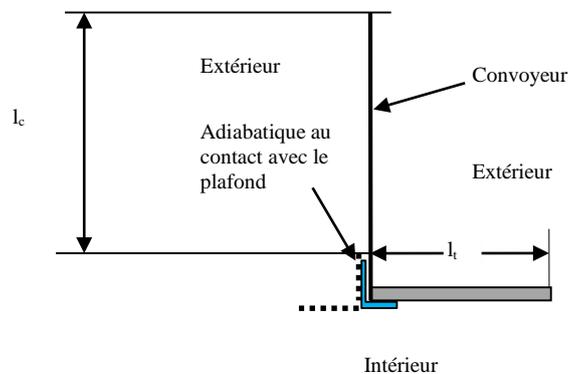


Figure 42 – Coupe du profil de rive du diffuseur

P_{CL} est le périmètre intérieur du conduit de lumière, en m.

2.12.1.2 Conduits de lumière traversant un local chauffé

Les coefficients de transmission surfacique à travers le conduit de lumière U_{CL} sont calculés comme suit :

$$U_{CL} = \frac{U_{diff} \times A_{CL} + U_{conv} \times A_{conv}}{A_{CL}} \times b \quad \text{(Formule 78) ;}$$

Où

b coefficient de réduction des déperditions correspondant au conduit de lumière:

$$b = \frac{U_{d\acute{o}me} A_{CL}}{U_{d\acute{o}me} A_{CL} + U_{diff} A_{CL} + U_{conv} A_{conv}} \quad \text{(Formule 79) ;}$$

Nota : Dans le cas particulier d'un conduit de lumière traversant un local non chauffé puis un local chauffé, un calcul de coefficients U_{CL1} et U_{CL2} sera nécessaire en supposant successivement que le conduit est entièrement dans le local chauffé puis entièrement dans le local non chauffé. Le coefficient U_{CL} moyen se calculera ensuite par simple pondération des coefficients U_{CL1} et U_{CL2} obtenus par les longueurs de conduits en contact avec le local non chauffé et le local chauffé.

$$U_{CL\text{moyen}} = \frac{U_{CL1} \cdot L_1 + U_{CL2} \cdot L_2}{L_1 + L_2} \quad \text{(Formule 80)}$$

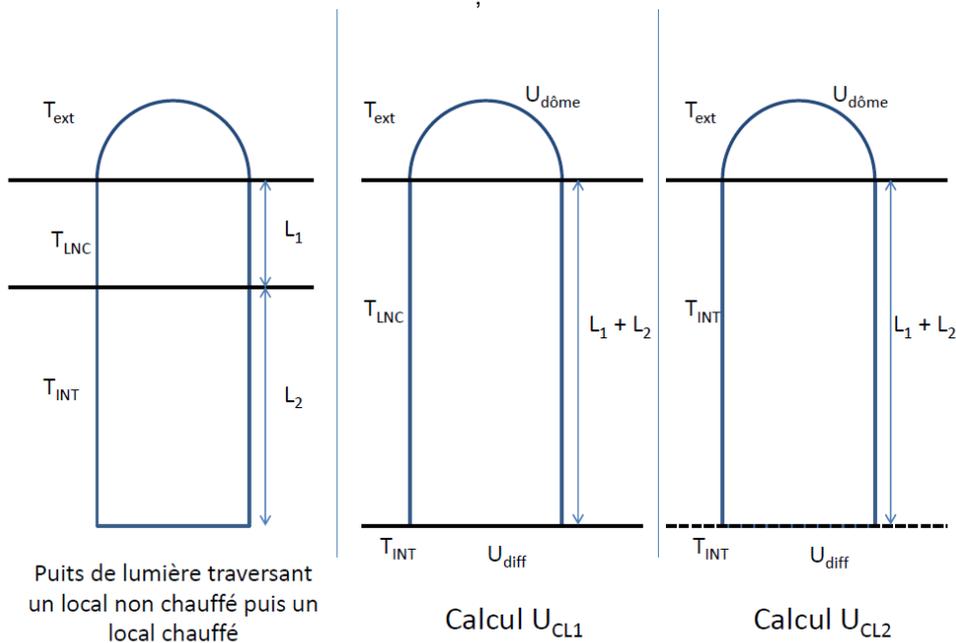


Figure 43 – Convention de calcul dans le cas d'un conduit de lumière traversant un local non chauffé puis un local chauffé

2.12.2 Facteur de transmission solaire S_w d'un conduit de lumière

En l'absence de valeur spécifiée dans un Avis Technique ou un Document Technique d'Application, les composantes du facteur de transmission de l'énergie solaire s'obtiennent par les formules suivantes :

$$S_{w1} = Tl_{i,sp,b \text{ conduit}} \quad (\text{Formule 81}) ;$$

$$S_{w2} = S_{w3} = 0 \quad (\text{Formule 82}) ;$$

Où $Tl_{i,sp,b \text{ conduit}}$ est le facteur de transmission lumineuse du conduit de lumière, calculé selon le paragraphe 2.12.3.

2.12.3 Facteur de transmission lumineuse TL_w d'un conduit de lumière

Un conduit de lumière est utilisé pour acheminer la lumière naturelle à l'intérieur des locaux. Il est constitué de trois éléments essentiels qui sont le collecteur, le convoyeur ultra réfléchissant et le diffuseur.

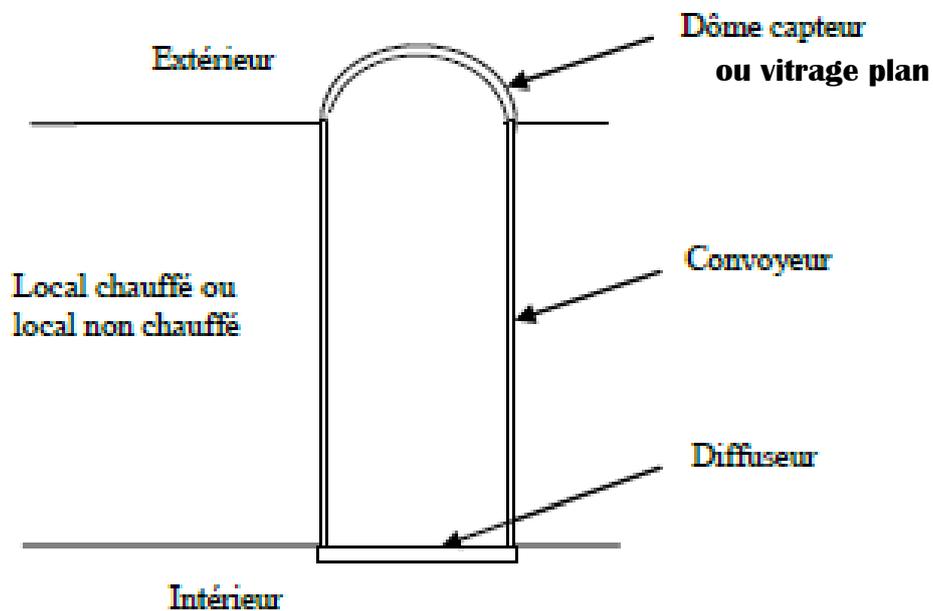


Figure 44 - Conduit de lumière

Le convoyeur quant à lui est composé d'un ou plusieurs tubes et d'un ou plusieurs coudes réfléchissants.

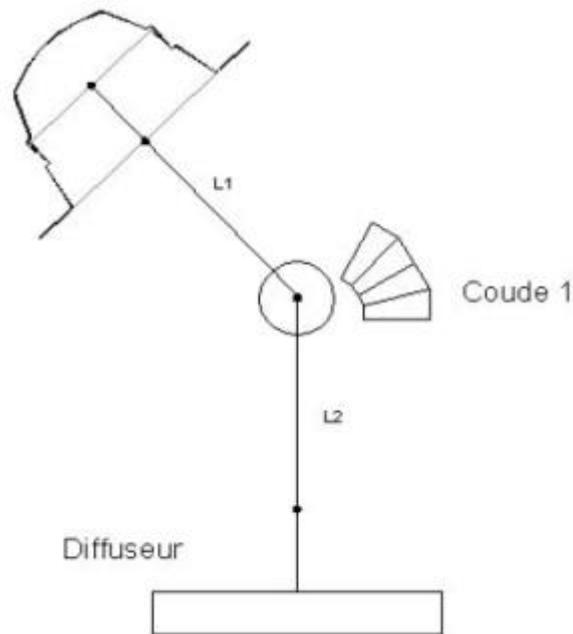


Figure 45 – Détail du convoyeur

Cette méthode de calcul se limite au cas des diffuseurs plans non diffractant et considère que le diffuseur du conduit de lumière converti l'intégralité du flux lumineux sous forme diffuse.

Le coefficient de transmission lumineuse équivalent d'un conduit de lumière est calculé comme suit :

$$\begin{aligned} Tli_{sp,b \text{ conduit}} &= \eta_{\text{capteur}} \times \eta_{\text{convoyeur}} \times \eta_{\text{diffuseur}} \\ Tlid_{sp,b \text{ conduit}} &= Tli_{sp,b \text{ conduit}} \end{aligned} \quad (\text{Formule 83}) ;$$

η_{capteur} rendement lumineux global du capteur, dépendant notamment de son diamètre
 $\eta_{\text{convoyeur}}$ rendement lumineux global du convoyeur, dépendant notamment de son diamètre et obtenu par la formule suivante :

$$\eta_{\text{convoyeur}} = (\eta_{\text{tube } 1} \times \eta_{\text{tube } 2} \times \dots \times \eta_{\text{tube } n}) \times (\eta_{\text{coude } 1} \times \eta_{\text{coude } 2} \times \dots \times \eta_{\text{coude } m}) \quad (\text{Formule 84}) ;$$

avec :

$\eta_{\text{tube } i}$ rendement lumineux du tube droit i du convoyeur, dépendant notamment de la longueur du tube et des pertes engendrées par les différents raccords entre tubes.
 $\eta_{\text{coude } j}$ rendement lumineux du coude j du convoyeur. En l'absence de coude, on considère que $\eta_{\text{coude } j} = 1$.

$\eta_{\text{diffuseur}}$ rendement lumineux global du diffuseur, dépendant notamment de son diamètre

Tous les rendements lumineux doivent être mesurés conformément au Rapport Technique du CIE/TC 3-38 n°173:2006 « Tubular daylight guidance systems ».

2.13 Façades rideaux

2.13.1 Coefficient de transmission thermique U_{cw} des façades rideaux

Ne sont concernées par ce paragraphe que les façades rideaux définies au paragraphe 1.5 et par la norme NF DTU 33.1.

Dans le cas d'une façade rideau marquée CE le coefficient U_{cw} doit être déterminé en se référant directement à la norme produit harmonisée européenne NF EN 13051. Dans les autres cas, le coefficient de transmission thermique U_{cw} de la façade rideau peut être calculé selon la méthode suivante :

La méthode de calcul détaillée correspondante est décrite dans la norme NF EN ISO 12631.

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 NF EN ISO 12631 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 dans la norme NF EN ISO 12631.

3 – on détermine le coefficient surfacique moyen U_{cwi} de chaque module, conformément à la norme NF EN ISO 12631.

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 :

$$U_{cw, tot} = \frac{\sum (U_{cwi} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}} \quad (\text{Formule 85}) ;$$

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 .

2.13.2 Facteurs solaires S_{cw} des façades rideaux

La méthode de calcul indiquée dans ce paragraphe reprend les principes décrits dans la norme XP P50-777.

- Division de 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 rideau. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

Les modules doivent ensuite être regroupés par facette en fonction de leur inclinaison et de leur orientation, par exemple :

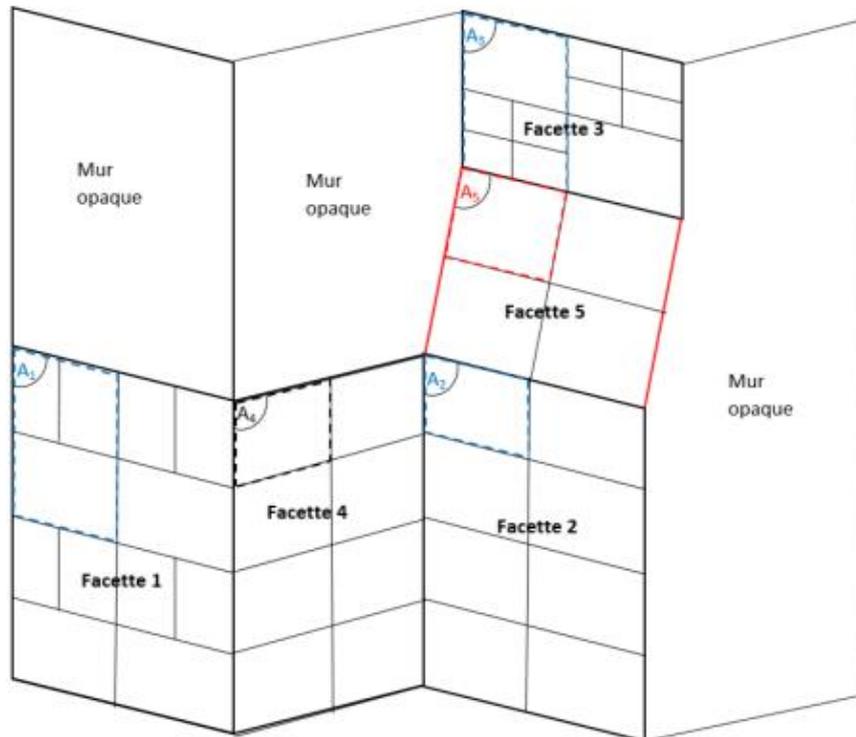


Figure 46 – Découpage de la façade en module et en facettes

$$A_{moy1} = 4.A_1$$

$$A_{moy2} = 8.A_2$$

$$A_{moy3} = 2.A_3$$

$$A_{moy4} = 8.A_4$$

$$A_{moy5} = 4.A_5$$

Note 1 : pour les façades courbes et de manière à éviter la surabondance de données à renseigner dans le moteur réglementaire, une orientation moyenne peut être utilisée.

Note 2 : les surfaces à renseigner pour le calcul des facteurs solaires des facettes sont les surfaces extérieures.

- Calcul des facteurs solaires et de transmission lumineuse des différents éléments de chaque facette (éléments de remplissage vitré ou opaque, profilés de menuiserie), à l'aide de la norme XP P50-777.
- Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire moyen S_{cwi} et S_{cws} de chaque facette i en fonction de la présence ou non de protection solaire, à partir du paragraphe 3.2.2 et de la norme XP P50-777.

Note 1 : 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 :

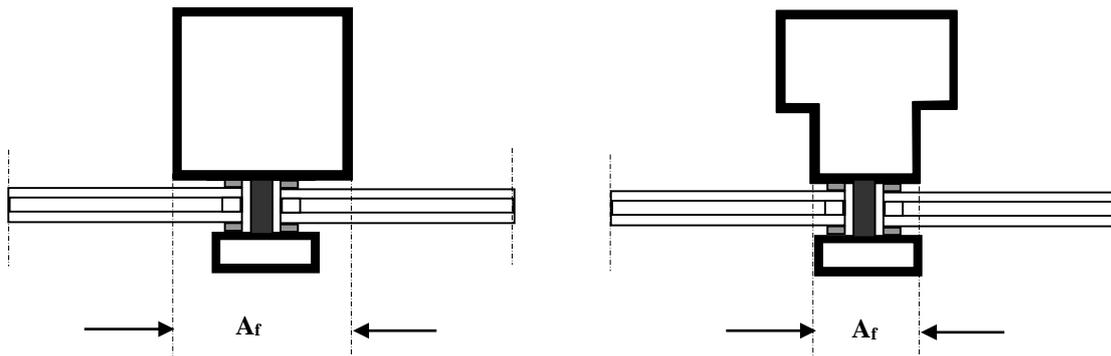


Figure 47 – Aires projetées visibles de la menuiserie

Note 2 : dans la majorité des cas, le correctif appliqué se limite à la correction d'angle d'incidence (cf. §.3.2.3.3).

- Renseignement de la façade rideau dans Th-BCE : la façade rideau se décrit sous la forme de plusieurs facettes différentes, il n'est pas possible de définir de coefficient moyen global de la façade. Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces intérieures de chaque facette (après déduction des épaisseurs de planchers et de refends). Les apports solaires supplémentaires au niveau des nez de dalle peuvent être comptabilisés sous forme d'apport linéique dépendant du pont thermique de liaison entre la façade et la dalle / refend (cf. document Méthodes - fascicule Ponts thermiques). L'inclinaison et l'orientation de chaque facette doivent être renseignées, ainsi que les masques proches ou lointains (par exemple les facettes 4 et 2 se masquent entre-elles dans l'exemple ci-dessus).

2.13.3 Facteurs de transmission lumineuse TL_{cw} des façades rideaux

La méthode de calcul indiquée dans ce paragraphe reprend les principes décrits dans la norme XP P50-777.

- Division de 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 rideau. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

Les modules doivent ensuite être regroupés par facette en fonction de leur inclinaison et de leur orientation, par exemple :

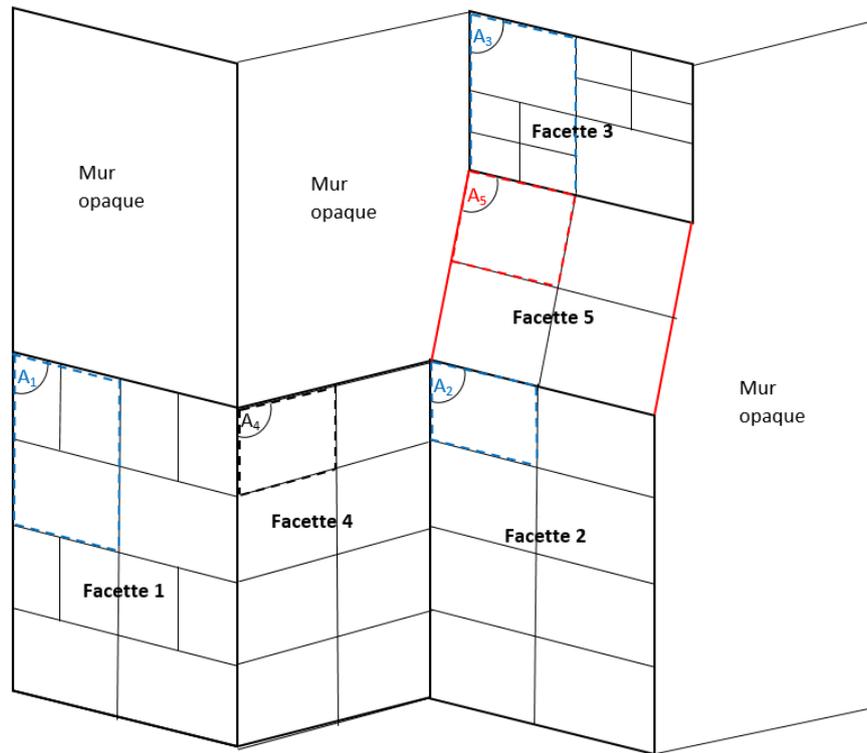


Figure 48 – Découpage de la façade en module et en facettes

$$A_{\text{moy1}} = 4.A_1$$

$$A_{\text{moy2}} = 8.A_2$$

$$A_{\text{moy3}} = 2.A_3$$

$$A_{\text{moy4}} = 8.A_4$$

$$A_{\text{moy5}} = 4.A_5$$

Note 1 : pour les façades courbes et de manière à éviter la surabondance de données à renseigner dans le moteur réglementaire, une orientation moyenne peut être utilisée.

Note 2 : les surfaces à renseigner pour le calcul des transmissions lumineuses des facettes sont les surfaces extérieures.

- Calcul de transmission lumineuse des différents éléments de chaque facette (éléments de remplissage vitré), à l'aide de la norme XP P50-777.
- Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen TL_{cwi} et TL_{cws} de chaque facette i en fonction de la présence ou non de protection solaire, à partir du paragraphe 3.3.1 et de la norme XP P50-777.

Note 1 : 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 :

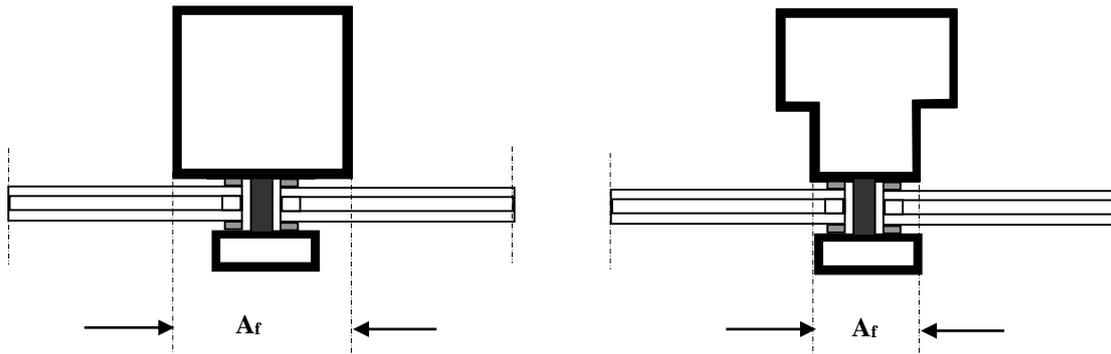


Figure 49 – Aires projetées visibles de la menuiserie

Note 2 : dans la majorité des cas, le correctif appliqué se limite à la correction d'angle d'incidence (cf. §. 3.3.2.3). Dans le cas d'une présence de poteaux structurels ou de poutres à retombée situés à moins d'un mètre de la façade, un correctif supplémentaire F_p doit être introduit :

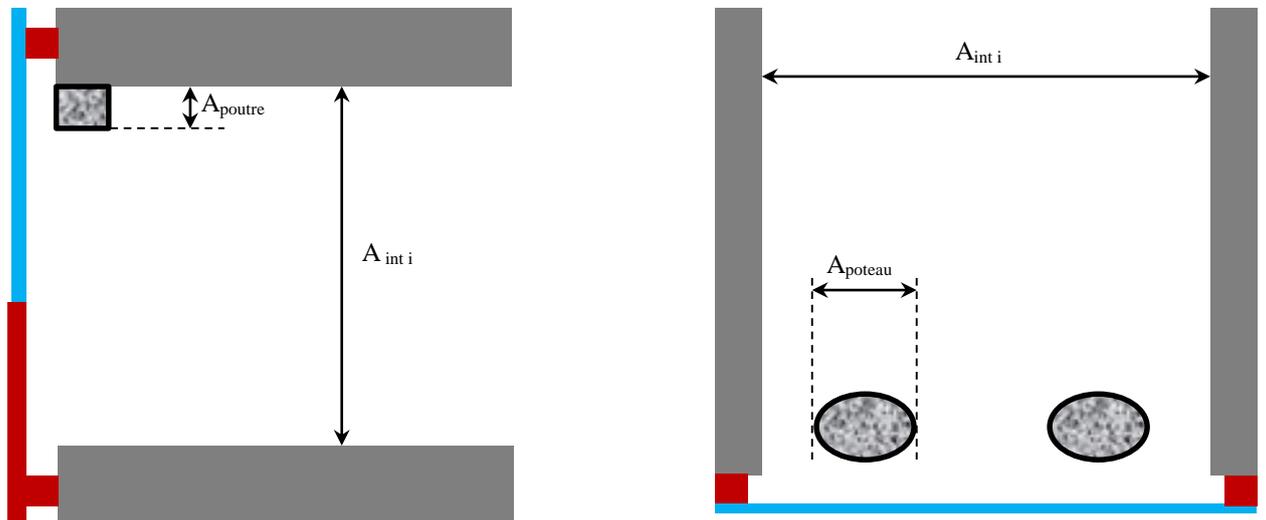


Figure 50 – Descriptif de la façade rideau

Où :

$A_{int i}$: Surface intérieure de la facette i , en m^2

$A_{poutre j}$: Surface de la poutre à retombée j , en m^2

$A_{poteau j}$: Surface projetée sur la façade du poteau j , en m^2

- Renseignement de la façade rideau dans Th-BCE : la façade rideau se décrit sous la forme de plusieurs facettes différentes, il n'est pas possible de définir de coefficient moyen global de la façade. Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces intérieures de chaque facette (après déduction des épaisseurs de planchers et de refends). L'inclinaison et l'orientation de chaque facette doivent être renseignées, ainsi que les masques proches ou lointains (par exemple les facettes 4 et 2 se masquent entre-elles dans l'exemple ci-dessus).

2.14 Facades double peau

2.14.1 Coefficient de transmission thermique U_{cw} des façades double peau

La présente méthode s'applique aux façades multiples ou multi-parois, et dont la lame d'air est :

- Ventilée naturellement sur l'extérieur par des orifices de ventilation dont les sections sont définies dans le paragraphe 5.6.1.6 de la norme NF DTU 33.1
- Faiblement ventilée sur l'extérieur, par des orifices de ventilation de sections inférieures à celles définies dans le paragraphe 5.6.1.6 de la norme NF DTU 33.1.

Les paramètres pouvant impacter de façon importante la performance énergétique des façades double peau sont :

- La nature du vitrage utilisé en particulier pour la peau intérieure (simple, double, double avec faible émissivité, double avec faible émissivité et remplissage gaz lourd, triple, vitrage à contrôle solaire...)
- Le type de profilé utilisé (avec ou sans rupture de pont thermique)
- La géométrie de la façade (nombre de profilés, ratio clair moyen...)
- Les sections de ventilation de l'espace d'air entre peaux en parties haute et basse de la façade
- La présence ou non de protections solaires pour réduire les apports solaires estivaux et limiter ainsi le recours au système de refroidissement
- La nature des protections solaires employées en particulier leurs propriétés diffusantes pour obtenir une ambiance lumineuse intérieure de qualité et limiter ainsi le recours à l'éclairage artificiel

La présente méthode s'applique aux façades dont l'inclinaison est supérieure à 60°.

Le calcul du coefficient de transmission thermique U_{cw} de la façade double peau dépend du degré de ventilation de l'espace d'air entre peaux. Les méthodes indiquées ci-après sont des méthodes simplifiées donnant des valeurs sécuritaires et basées sur les normes de calcul existantes en particulier l'Annexe D de la norme NF EN ISO 12631. Des études au cas par cas peuvent toutefois permettre de préciser l'impact de l'espace d'air ventilé.

De plus, les méthodes se limitent à des espaces d'air ventilés naturellement (sans ventilation mécanique) et de largeur inférieure à 300 mm. Toutefois, en l'absence de méthode existante pour des largeurs supérieures, on considère par hypothèse que les méthodes suivantes sont également valables pour des largeurs supérieures 300 mm.

2.14.1.1 Espace d'air fortement ventilé (au sens de la norme NF EN ISO 6946)

L'espace d'air entre peaux est considéré comme fortement ventilée sur l'extérieur si les sections des orifices de ventilations en parties haute et basse de la façade sont supérieures à 1500 mm² par mètre de longueur horizontale, ce qui correspond à une fente continue de largeur supérieure à 1,5 mm.

Dans ce cas, le calcul du coefficient de transmission thermique de la façade double peau s'obtient par la formule suivante :

$$U_{cw} = \frac{1}{\frac{1}{U_{cw2}} + 0,09} \quad (\text{Formule 86}) ;$$

Où :

U_{cw2} est le coefficient de transmission thermique de la peau intérieure de la façade tenant compte des tous ses composants (vitrage, profilés, espaceurs...) et calculé conformément à la norme NF EN ISO 12631, en W/(m².K).

Nota : La valeur de 0,09 m².K/W correspond à l'écart entre les résistances thermiques superficielles intérieure et extérieure calculées conformément à la norme NF EN ISO 6946.

2.14.1.2 Espace d'air faiblement ventilé (au sens de la norme NF EN ISO 6946)

L'espace d'air entre peaux est considéré comme faiblement ventilé sur l'extérieur si les sections des orifices de ventilations en parties haute et basse de la façade sont inférieures à 1500 mm² par mètre de longueur horizontale, ce qui correspond à une fente continue de largeur inférieure à 1,5 mm.

Dans ce cas, le calcul du coefficient de transmission thermique de la façade double peau s'obtient par la formule suivante :

$$U_{cw} = \frac{1}{\frac{1500 - A_v}{1000} \times R_{cw,u} + \frac{A_v - 500}{1000} \times R_{cw,v}} \quad (\text{Formule 87}) ;$$

Où :

$R_{cw,u}$ est la résistance thermique équivalente avec espace d'air non ventilé, en m².K/W, calculé comme suit :

$$R_{cw,u} = \frac{1}{U_{cw1}} + \frac{1}{U_{cw2}} + R_s - 0,17 \quad (\text{Formule 88}) ;$$

$R_{cw,v}$ est la résistance thermique équivalente avec espace d'air fortement ventilé, en m².K/W, calculé comme suit :

$$R_{cw,v} = \frac{1}{U_{cw2}} + 0,09 \quad (\text{Formule 89}) ;$$

A_v est la section des orifices de ventilations en parties haute et basse de la façade, en mm² ;

U_{cw2} est le coefficient de transmission thermique de la peau intérieure de la façade tenant compte des tous ses composants (vitrage, profilés, espaceurs...) et calculé conformément à la norme NF EN ISO 12631, en W/(m².K) ;

U_{cw1} est le coefficient de transmission thermique de la peau extérieure de la façade tenant compte des tous ses composants (vitrage, profilés, espaceurs...) et calculé conformément à la norme NF EN ISO 12631, en W/(m².K) ;

R_s est la résistance thermique équivalente de l'espace d'air supposé non ventilé, en m².K/W, calculée à l'aide de la norme NF EN ISO 6946. En pratique, pour des largeurs de l'espace d'air comprises entre 25 et 300 mm, une valeur unique peut être prise : $R_s = 0,18$ m².K/W.

Des valeurs par défaut des coefficients U_{cw} des façades double peau sont disponibles dans le document Applications - fascicule Parois vitrées au §2.8.

Nota 1 : Les valeurs de 0,09 m².K/W et de 0,17 m².K/W correspondent respectivement à l'écart entre les résistances thermiques superficielles intérieure et extérieure calculés conformément à la norme NF EN ISO 6946, et à leur somme.

Nota 2 : Du fait de la position de la protection solaire dans la double peau et de sa faible épaisseur, le gain thermique apporté par cette protection sur le coefficient de transmission thermique est négligeable.

2.14.2 Calcul des facteurs de transmission solaire S_{cw} et lumineuse TL_{cw} des façades double peau

La méthode de calcul indiquée dans ce paragraphe reprend les principes décrits dans la norme XP P50-777. Une méthode simplifiée est proposée pour calculer le facteur de transmission solaire et lumineuse des vitrages. Dans le cas où une protection solaire est présente entre peaux, il est nécessaire de calculer également les facteurs S_{cws} et TL_{cws} correspondant à la façade double peau avec protections solaires pleinement déployées.

Les méthodes indiquées ci-après sont des méthodes simplifiées donnant des valeurs sécuritaires en terme de confort estival et basées sur les normes de calcul existantes (XP P50-777, NF EN 410, ISO 52022-1). Des études au cas par cas peuvent toutefois permettre de préciser l'impact de l'espace d'air ventilé.

Cette méthode se limite à la prise en compte de protections solaires entre peaux, sans lames inclinées et ne traite pas des brise-soleil. Les protections solaires doivent de plus avoir des caractéristiques de transmission et de réflexion énergétiques comprises dans la gamme suivante : $\tau_{e,B} < 0.5$ et $0.1 < \rho_{e,B} < 0.8$.

Le principe général consiste à découper la façade en éléments d'orientation et d'inclinaison identiques et de calculer d'abord pour chaque élément la transmission lumineuse ainsi que la composante directe du facteur solaire (S_{cw1}) de la peau extérieure. Toutes les composantes de la double peau sont ensuite déduites par une méthode d'assemblage simplifiée :

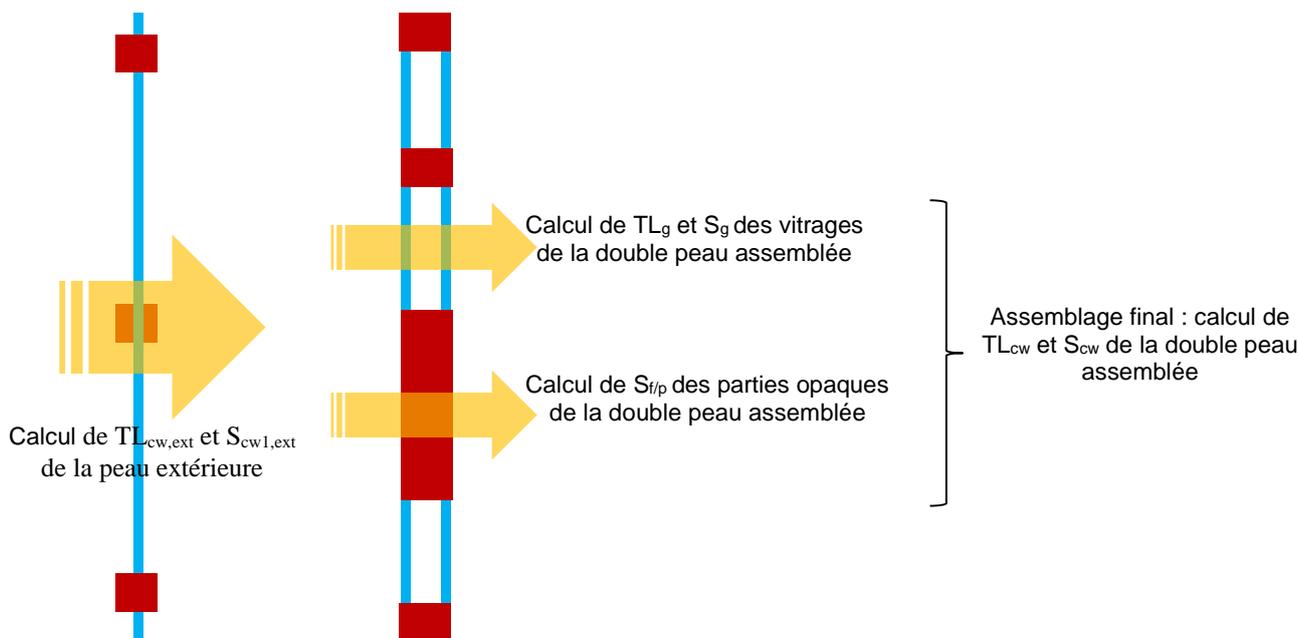


Figure 51 – Façade double peau

Note 1 : de manière générale, toutes les hypothèses simplificatrices retenues dans cette méthode conduisent à surestimer les facteurs de transmission solaire et lumineux, ce qui est sécuritaire en terme de confort d'été. En particulier, la lame d'air entre peau est supposée non ventilée. Pour les valeurs des facteurs solaires sans protection, il est considéré que les valeurs calculées sont valables aussi bien en condition de consommation qu'en condition de confort d'été ($S_{cw}^C = S_{cw}^F = S_{cw}$).

Note 2 : en toute rigueur un correctif pour prendre en compte les incidences rasantes devrait être appliqué. En effet, les calculs réalisés ne sont valables théoriquement qu'à incidence normale au vitrage. Toutefois, du fait des simplifications déjà utilisées, du faible impact de cette correction et par soucis de simplification, ce correctif n'est pas retenu.

2.14.2.1 Division de 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 double peau. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

Les modules doivent ensuite être regroupés par facette en fonction de leur inclinaison et de leur orientation, par exemple :

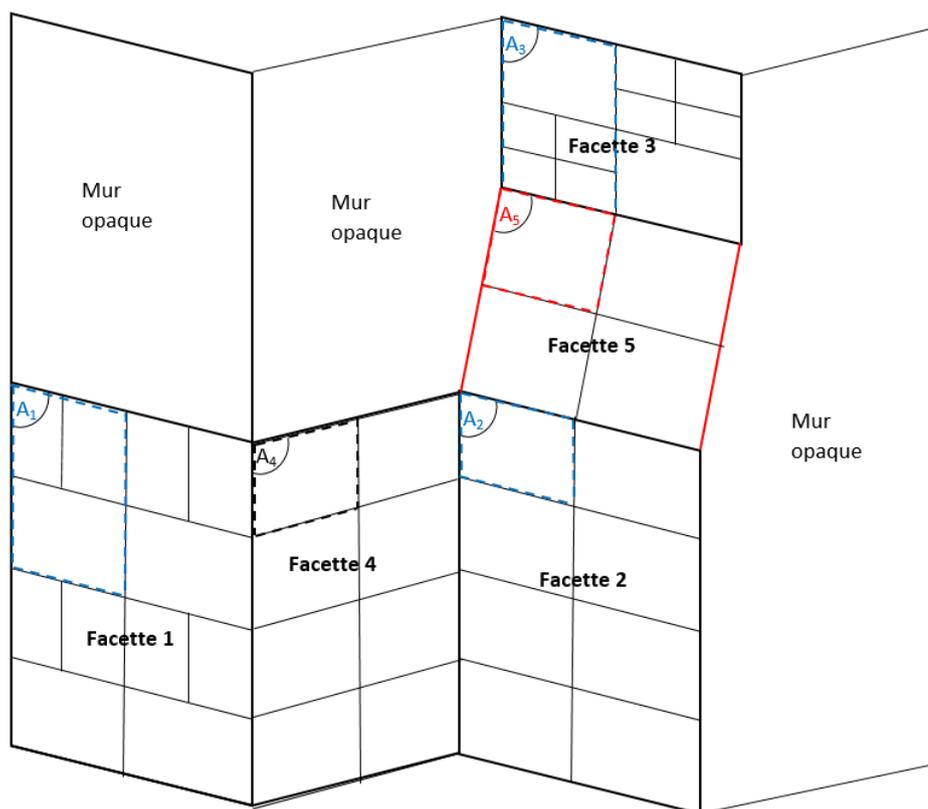


Figure 52 – Découpage de la façade en module et en facettes

$$A_{\text{moy}1} = 4.A_1$$

$$A_{\text{moy}2} = 8.A_2$$

$$A_{\text{moy}3} = 2.A_3$$

$$A_{\text{moy}4} = 8.A_4$$

$$A_{\text{moy}5} = 4.A_5$$

Note 1 : pour les façades courbes et de manière à éviter la surabondance de données à renseigner dans le moteur réglementaire, une orientation moyenne peut être utilisée.

Note 2 : les surfaces à renseigner sont comptabilisées côté intérieur de dalle (ou refend) à dalle (ou refend). Les apports solaires supplémentaires au niveau des nez de dalle peuvent être comptabilisés sous forme d'apport linéique dépendant du pont thermique de liaison entre la façade et la dalle / refend (cf. document Méthodes – fascicule Ponts thermiques).

Note 3 : Si les modules ainsi définis recouvrent plusieurs groupes thermiques différents au sens de la méthode Th-BCE, ils doivent toutefois être redécoupés en conséquence.

2.14.2.2 Calcul des facteurs de transmission lumineuse et de transmission solaire directe (S_{cw1}) pour la peau extérieure et chaque facette i

Pour chaque facette identifiée précédemment, les facteurs de transmission lumineuse $TL_{cw,i}$ et la composante directe du facteur solaire $S_{cw1,i}$ de la peau extérieure sont calculés :

$$S_{cw1,i,ext} = \frac{\sum \tau_{e,ext} A_{g,ext}}{\sum (A_{g,ext} + A_{f,ext} + A_{p,ext})} \quad (\text{Formule 90}) ;$$

$$TL_{cw,i,ext} = \frac{\sum \tau_{v,ext} A_{g,ext}}{\sum (A_{g,ext} + A_{f,ext} + A_{p,ext})} \quad (\text{Formule 91}) ;$$

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

$A_{f,ext}^{(1)}$ est la plus grande aire projetée de la menuiserie de la peau extérieure prise sans recouvrement, vue des deux côtés de la paroi, en m^2 .

$A_{p,ext}^{(1)}$ est la plus petite aire visible du panneau opaque de la peau extérieure, vue des deux côtés de la paroi en m^2 . On ne tient pas compte des débordements des joints.

$\tau_{e,ext}$, $\tau_{v,ext}$ sont les caractéristiques globales du vitrage nu de la peau extérieure, déterminées selon la norme NF EN 410.

⁽¹⁾ 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 :

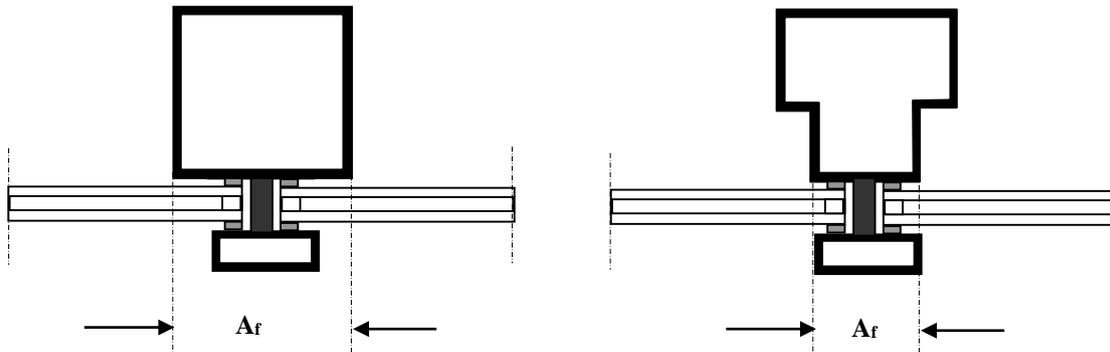


Figure 53 – Aires projetées visibles de la menuiserie

2.14.2.3 Calcul des composantes de la double peau sans protection solaire pour chaque facette i

Le principe consiste à corriger les composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse de la peau intérieure à partir des caractéristiques de la peau extérieure.

2.14.2.3.1.1 Calcul des composantes des vitrages d'une facette i

$$\left. \begin{aligned} S_{g1} &= \frac{\tau_{e,int} \times S_{cw1,i,ext}}{1 - \rho_{e,int} \times \rho'_{e,ext}} \\ S_{g2} &= \frac{1}{R_{cw,u} + 0.17} \cdot \left(\frac{\alpha_{e1} + \alpha_{e2}}{23} + \alpha_{e2} \cdot R_{cw,u} \right) \\ S_{g3} &= 0 \end{aligned} \right\} S_g = S_{g1} + S_{g2} + S_{g3} \quad \text{(Formule 92) ;}$$

$$\left. \begin{aligned} TL_g &= \frac{\tau_{v,int} \times TL_{cw,i,ext}}{1 - \rho_{v,int} \times \rho'_{v,ext}} \\ TL_{g,dif} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{(Formule 93) ;}$$

Avec :

$$\alpha_{e1} = 1 - S_{cw1,i,ext} - \rho_{e,ext} + \frac{S_{cw1,i,ext} \cdot \rho_{e,int} \cdot (1 - S_{cw1,i,ext} - \rho'_{e,ext})}{1 - \rho'_{e,ext} \cdot \rho_{e,int}} \quad \text{(Formule 94) ;}$$

$$\alpha_{e2} = \frac{(1 - \tau_{e,int} - \rho_{e,int}) \cdot S_{cw1,i,ext}}{1 - \rho'_{e,ext} \cdot \rho_{e,int}} \quad \text{(Formule 95) ;}$$

Où :

$\tau_{e,int}$, $\tau_{v,int}$, $\rho_{e,int}$, $\rho_{v,int}$ sont les caractéristiques globales du vitrage nu de la peau intérieure, déterminées selon la norme NF EN 410.

$\rho_{e,ext}$, $\rho_{v,ext}$ sont les caractéristiques de réflexion globales du vitrage nu de la peau extérieure dans le sens du rayonnement, déterminées selon la norme NF EN 410.

$\rho'_{e,ext}$, $\rho'_{v,ext}$ sont les caractéristiques de réflexion globales du vitrage nu de la peau extérieure côté opposé au rayonnement, déterminées selon la norme NF EN 410.

$\rho_{e,int}$, $\rho_{v,int}$ sont les caractéristiques de réflexion globales du vitrage nu de la peau intérieure dans le sens du rayonnement, déterminées selon la norme NF EN 410.

$S_{cw1,i,ext}$ et $TL_{cw,i,ext}$ sont les facteurs de transmission solaire direct et lumineuse de la peau extérieure de la facette i considérée, déterminé selon le §.2.14.2.2

$R_{cw,u}$ est la résistance thermique équivalente de la double peau avec espace d'air non ventilé, en $m^2.K/W$, déterminé selon le §.2.14.1.2.

Note 1 : ces formules sont basées sur la norme NF EN 410 en considérant en particulier que la lame d'air entre peaux est non ventilée, ce qui est sécuritaire en terme de confort estival.

Note 2 : ces formules supposent que la réflexion énergétique et lumineuse des éléments opaques éventuellement présents dans les peaux est identique à celle des vitrages des peaux.

2.14.2.3.2 Détermination des facteurs de transmission solaire des autres éléments opaques de chaque module.

$$S_f = S_{cw1,i,ext} \cdot \frac{\alpha_f \cdot U_f}{25} + \frac{1 - S_{cw1,i,ext} - \rho'_{e,ext}}{10 \left(\frac{1}{U_f} + 0.3 \right)} + \frac{S_{cw1,i,ext} \left(1 - \frac{\alpha_f \cdot U_f}{25} \right)}{5 \left(\frac{1}{U_f} + 0.3 \right)} \quad (\text{Formule 96}) ;$$

$$S_p = S_{cw1,i,ext} \cdot \frac{\alpha_p \cdot U_p}{25} + \frac{1 - S_{cw1,i,ext} - \rho'_{e,ext}}{10 \left(\frac{1}{U_p} + 0.3 \right)} + \frac{S_{cw1,i,ext} \left(1 - \frac{\alpha_p \cdot U_p}{25} \right)}{5 \left(\frac{1}{U_p} + 0.3 \right)}$$

Où U_f et U_p sont les coefficients de transmission thermique des profilés et des remplissages opaques de la peau intérieure, calculés selon la norme NF EN ISO 10077-2.

Les coefficients d'absorption énergétiques du cadre et des parties opaques peuvent être mesurés à l'aide de la norme NF EN 410 ; à défaut de mesure, les valeurs suivantes, issues de l'Annexe D de la norme XP P50-777, peuvent être utilisées :

- pour les couleurs claires (blanc, jaune, orange, rouge clair) : $\alpha_{f,p} = 0,4$
- pour les couleurs moyenne (rouge sombre, vert clair, bleu clair, gris clair) : $\alpha_{f,p} = 0,6$
- pour les couleurs sombre (brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen) : $\alpha_{f,p} = 0,8$
- pour les couleurs foncées (noir, brun sombre, bleu sombre, gris sombre), $\alpha_{f,p} = 1,0$

2.14.2.3.3 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen S_{cw1} et TL_{cw1} de chaque facette.

$$S_{cw1,i} = \frac{\sum S_{g1} A_{g,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad (\text{Formule 97}) ;$$

$$S_{cw2,i} = \frac{\sum S_{g2} A_{g,int} + \sum S_f A_{f,int} + \sum S_p A_{p,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad (\text{Formule 98}) ;$$

$$S_{cw3,i} = S_{cws3,i} = 0$$

$$TL_{cw,i} = \frac{\sum TL_g A_{g,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad (\text{Formule 99}) ;$$

$$TL_{cw,dif,i} = 0$$

où

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

$A_{f,int}^{(1)}$ est la plus grande aire projetée de la menuiserie de la peau intérieure prise sans recouvrement, vue des deux côtés de la paroi, en m^2 .

$A_{p,int}^{(1)}$ est la plus petite aire visible du panneau opaque de la peau intérieure, vue des deux côtés de la paroi en m^2 . On ne tient pas compte des débordements des joints.

TL_g est le facteur de transmission lumineuse sans protection solaire de chaque vitrage de la facette i , déterminée suivant le §.2.14.2.3.1.1.

- S_{g1} est la composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire de chaque vitrage de la facette i , déterminée suivant le §. 2.14.2.3.1.1.
- S_{g2} est la composante réémission du facteur de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire de chaque vitrage de la facette i , déterminée suivant le §. 2.14.2.3.1.1.
- S_r est le facteur solaire du cadre sans protection solaire, déterminé suivant le §.2.14.2.3.2.
- S_p est le facteur solaire de l'élément de remplissage opaque sans protection solaire, déterminé suivant le §.2.14.2.3.2.

⁽¹⁾ 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 :

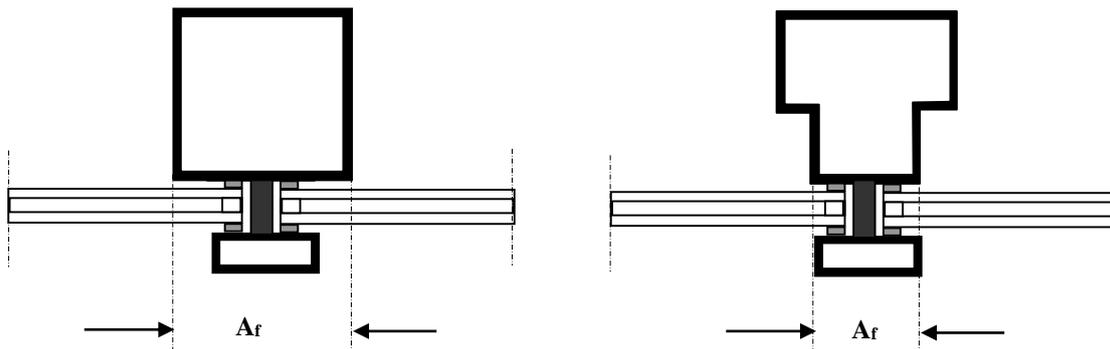


Figure 54 – Aires projetées visibles de la menuiserie

2.14.2.4 Calcul des composantes de la double peau avec protection solaire pour chaque facette i

Le principe consiste à corriger les composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse de la peau intérieure à partir des caractéristiques de la peau extérieure et de la protection solaire intégrée.

2.14.2.4.1 Calcul des composantes des vitrages d'une facette i

$$\left. \begin{aligned} S_{gs1} &= \frac{\tau_{e,int} \tau_{e,B} S_{cw1,i,ext}}{(1-\rho'_{e,ext} \rho_{e,B}) \cdot (1-\rho_{e,int} \rho_{e,B}) - \tau_{e,B}^2 \rho'_{e,ext} \rho_{e,int}} \\ S_{gs2} &= 0.02 + S_g \cdot \tau_{e,B} + \frac{S_g \cdot (1-\tau_{e,B} - \rho_{e,B} + (1-S_g) \cdot \rho_{e,B})}{3 \cdot (R_{cw,u} + 0.17) + 1} - S_{gs1} \\ S_{gs3} &= 0 \end{aligned} \right\} S_{gs} = S_{gs1} + S_{gs2} + S_{gs3} \quad (\text{Formule 100}) ;$$

$$TL_{gs} = \frac{\tau_{v,int} \tau_{v,B} TL_{cw,i,ext}}{(1-\rho'_{v,ext} \rho_{v,B}) \cdot (1-\rho_{v,int} \rho_{v,B}) - \tau_{v,B}^2 \rho'_{v,ext} \rho_{v,int}} \quad (\text{Formule 101}) ;$$

$$TL_{gs,dif} = \frac{\tau_{v,int} \tau_{v,B,dif} TL_{cw,i,ext}}{(1-\rho'_{v,ext} \rho_{v,B}) \cdot (1-\rho_{v,int} \rho_{v,B}) - \tau_{v,B}^2 \rho'_{v,ext} \rho_{v,int}}$$

Où :

$\tau_{e,int}$, $\tau_{v,int}$, $\rho_{e,int}$, $\rho_{v,int}$ sont les caractéristiques globales du vitrage nu de la peau intérieure, déterminées selon la norme NF EN 410.

$\rho'_{e,ext}$, $\rho'_{v,ext}$ sont les caractéristiques de réflexion globales du vitrage nu côté opposé au rayonnement de la peau extérieure, déterminées selon la norme NF EN 410.

$S_{cw1,i,ext}$ et $TL_{cw,i,ext}$ sont les facteurs de transmission solaire direct et lumineuse de la peau extérieure de la facette i considérée, déterminé selon le §.2.14.2.2.

$\tau_{e,B}$, $\tau_{v,B,dif}$, $\rho_{e,B}$, $\rho_{v,B}$ sont les caractéristiques globales de la protection solaire intégrée entre peau, déterminées selon la norme NF EN 14500.

S_g est le facteur de transmission solaire global des vitrages de la double peau assemblée sans protection solaire, déterminé selon la norme NF EN 410.

$R_{cw,u}$ est la résistance thermique équivalente de la double peau avec espace d'air non ventilé, en m².K/W, déterminé selon le §.2.14.1.2.

Note 1 : ces formules simplifiées se basent sur les normes NF EN 410 et ISO 52022-1 avec l'ajout d'un coefficient majorateur permettant de s'assurer que la valeur de facteur solaire obtenu est supérieure à la valeur précise pour être sécuritaire en terme de confort estival et dimensionnement des charges de refroidissement.

Note 2 : ces formules supposent que les réflexions énergétiques et lumineuses de la protection solaire sont identiques dans les deux sens (sens du rayonnement et sens opposé au rayonnement).

Note 3 : ces formules supposent que la réflexion énergétique et lumineuse des éléments opaques éventuellement présents dans les peaux est identique à celle des vitrages des peaux.

2.14.2.4.2 Détermination des facteurs de transmission solaire des autres éléments opaques de chaque module.

$$S_{fs} = \tau_{e,B} \cdot \frac{\alpha_f \cdot U_f}{25} + \frac{1 - \tau_{e,B} - \rho_{e,B}}{10 \cdot \left(\frac{1}{U_f} + 0.3\right)} + \frac{\tau_{e,B} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_f \cdot U_f}{25}\right)}{5 \cdot \left(\frac{1}{U_f} + 0.3\right)} \quad (\text{Formule 102}) ;$$

$$S_{ps} = \tau_{e,B} \cdot \frac{\alpha_p \cdot U_p}{25} + \frac{1 - \tau_{e,B} - \rho_{e,B}}{10 \cdot \left(\frac{1}{U_p} + 0.3\right)} + \frac{\tau_{e,B} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_p \cdot U_p}{25}\right)}{5 \cdot \left(\frac{1}{U_p} + 0.3\right)}$$

Où U_f et U_p sont les coefficients de transmission thermique des profilés et des remplissages opaques de la peau intérieure, calculés selon la norme NF EN ISO 10077-2.

Les coefficients d'absorption énergétiques du cadre et des parties opaques peuvent être mesurés à l'aide de la norme NF EN 410 ; à défaut de mesure, les valeurs suivantes, issues de l'Annexe D de la norme XP P50-777, peuvent être utilisées :

- pour les couleurs claires (blanc, jaune, orange, rouge clair) : $\alpha_{f,p} = 0,4$
- pour les couleurs moyenne (rouge sombre, vert clair, bleu clair, gris clair) : $\alpha_{f,p} = 0,6$
- pour les couleurs sombre (brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen) : $\alpha_{f,p} = 0,8$
- pour les couleurs foncées (noir, brun sombre, bleu sombre, gris sombre), $\alpha_{f,p} = 1,0$

Note : l'impact de la peau extérieure sur le facteur solaire des éléments opaques de la double peau est négligée face à l'impact de la protection solaire déployée.

2.14.2.4.2.1 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen S_{cwi} et TL_{cwi} de chaque facette.

$$S_{cws1,i} = \frac{\sum S_{gs1} A_{g,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad (\text{Formule 103}) ;$$

$$S_{cws2,i} = \frac{\sum S_{gs2} A_{g,int} + \sum S_{fs} A_{f,int} + \sum S_{ps} A_{p,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad (\text{Formule 104}) ;$$

$$S_{cws3,i} = 0$$

$$TL_{cws,i} = \frac{\sum TL_{gs} A_{g,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad (\text{Formule 105}) ;$$

$$TL_{cws,dif,i} = \frac{\sum TL_{gs,dif} A_{g,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad (\text{Formule 106}) ;$$

où

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

$A_{f,int}^{(1)}$ est la plus grande aire projetée de la menuiserie de la peau intérieure prise sans recouvrement, vue des deux côtés de la paroi, en m^2 .

$A_{p,int}^{(1)}$ est la plus petite aire visible du panneau opaque de la peau intérieure, vue des deux côtés de la paroi en m^2 . On ne tient pas compte des débordements des joints.

TL_{gs} est le facteur de transmission lumineuse avec protection solaire de chaque vitrage de la facette i , déterminée suivant le §.2.14.2.4.1.

$TL_{gs,dif}$ est la composante diffusée du facteur de transmission lumineuse avec protection solaire de chaque vitrage de la facette i , déterminée suivant le §.2.14.2.4.1.

S_{gs1} est la composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire avec protection solaire de chaque vitrage de la facette i , déterminée suivant le §.2.14.2.4.1.

S_{gs2} est la composante réémise du facteur de transmission de l'énergie solaire avec protection solaire de chaque vitrage de la facette i , déterminée suivant le §.2.14.2.4.1.

S_s est le facteur solaire du cadre avec protection solaire, déterminé suivant le §.2.14.2.4.2.

S_{ps} est le facteur solaire de l'élément de remplissage opaque avec protection solaire, déterminé suivant le §.2.14.2.4.2.

⁽¹⁾ 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 :

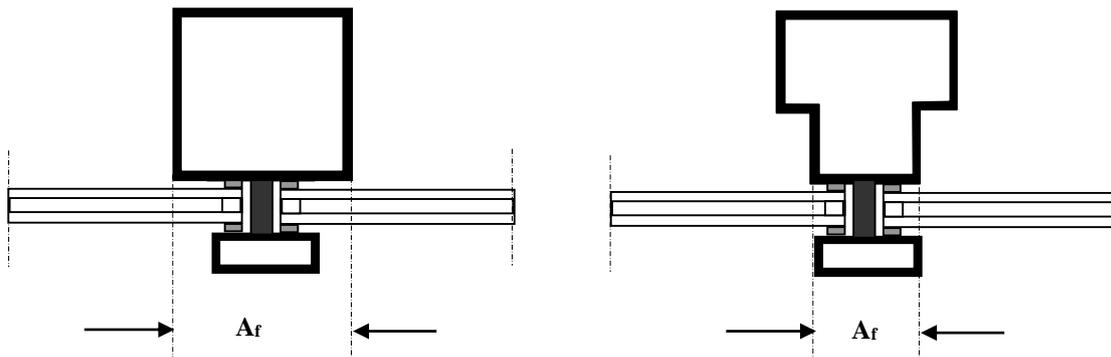


Figure 55 – Aires projetées visibles de la menuiserie

2.14.2.5 Renseignement de la façade double peau dans Th-BCE

La façade double peau se décrit sous la forme de plusieurs modules moyens différents d'orientation et d'inclinaison identiques, il n'est pas possible de définir de coefficient moyen global de la façade.

Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces des différents modules moyens. Les différentes composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse sont ceux calculés aux paragraphes 2.14.2.3 et 2.14.2.4. Les valeurs sans protection solaire en condition de consommation peuvent être prise égales à celles en condition de confort d'été et égales aux composantes S_{cw} ($S_{cw}^C = S_{cw}^E = S_{cw}$).

L'inclinaison et l'orientation de chaque facette doivent être renseignées, ainsi que les masques proches ou lointains.

2.15 Verrières

Les paramètres pouvant impacter de façon importante la performance énergétique des verrières sont :

- la nature du vitrage utilisé (simple, double, double avec faible émissivité, double avec faible émissivité et remplissage gaz inerte, triple, vitrage à contrôle solaire...);
- le type de profilé utilisé (avec ou sans rupture de pont thermique);
- la géométrie de la verrière (nombre de profilés, ratio clair moyen, inclinaison...);
- la présence ou non de protections solaires pour réduire les apports solaires estivaux et limiter ainsi le recours aux systèmes de refroidissement;
- la nature des protections solaires employées en particulier leurs propriétés diffusantes pour obtenir une ambiance lumineuse intérieure de qualité et limiter ainsi le recours à l'éclairage artificiel.

2.15.1 Coefficients de transmission thermique moyen U_{cw} des verrières

La méthode de calcul indiquée dans ce paragraphe reprend les mêmes principes que la méthode utilisée pour le calcul des façades rideaux. La méthode de calcul détaillée correspondante est décrite dans la norme NF EN ISO 12631.

2.15.1.1 Méthode simplifiée pour verrière d'inclinaison inférieure à 30 °

Si tous les modules d'une verrière ont une pente inférieure à 30°, la méthode simplifiée suivante qui considère les vitrages horizontaux avec flux ascendant peut s'appliquer. Elle permet de définir un coefficient de transmission thermique moyen $U_{cw,tot}$ de l'ensemble de la verrière.

Pour calculer le coefficient surfacique moyen de la verrière, on procède de la manière suivante :

2.15.1.1.1 Division de la verrière 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 verrière. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

Nota : Si le module moyen recouvre plusieurs groupes thermiques différents au sens de la méthode Th-BCE, il doit toutefois être découpé en conséquence.

2.15.1.1.2 Détermination des coefficients surfaciques $U_{gh,i}$ des vitrages de chaque module.

Le coefficient de transmission thermique surfacique utile $U_{gh,i}$ en partie centrale du vitrage i se calcule conformément à la norme NF EN 673.

2.15.1.1.3 Détermination des coefficients surfaciques et linéiques des autres éléments de chaque module.

En plus des vitrages, chaque module peut contenir à la fois différents types d'éléments : éléments de remplissage opaques, profilés de menuiserie, espaceurs de vitrages ou de panneaux opaques.

La méthode de calcul de ces éléments est donnée dans la norme NF EN ISO 10077-2. Pour le calcul des coefficients de transmission U_p des panneaux de remplissage opaques, les conditions aux limites à utiliser sont celles définies au document Méthodes fascicule Parois opaques et correspondent à un flux thermique ascendant et une émissivité de la face intérieure proche de $\varepsilon=0,9$ ($h_i = 10 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$).

2.15.1.1.4 Détermination du coefficient surfacique moyen $U_{cw,i}$ de chaque module.

$$U_{cw,i} = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_f A_f + \sum U_p A_p + \sum \Psi_g l_g + \sum \Psi_p l_p}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad (\text{Formule 107}) ;$$

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 ;

$A_f^{(1)}$ 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 $W/(m^2.K)$

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 $W/(m^2.K)$;

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 $W/(m.K)$;

Ψ_p est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'espaceur du panneau et du profilé, en $W/(m.K)$.

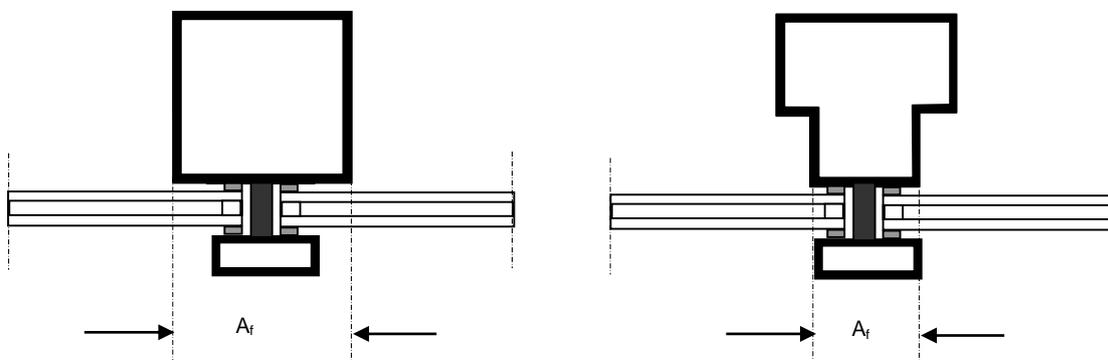


Figure 56 – Aires projetées visibles de la menuiserie

⁽¹⁾ 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 56)

2.15.1.1.5 Détermination du coefficient surfacique moyen de la verrière

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

$$U_{cw, tot} = \frac{\sum (U_{cw,i} \cdot A_{cw,i})}{\sum A_{cw,i}} \quad (\text{Formule 108}) ;$$

Où

$U_{cw, tot}$ est le coefficient surfacique moyen de la verrière, en $W/(m^2.K)$;

$U_{cw,i}$ est le coefficient surfacique moyen du module i , en $W/(m^2.K)$;

$A_{cw,i}$ est l'aire du module i , en m^2

2.15.1.1.6 Renseignement de la verrière dans Th-BCE

La surface à renseigner dans la méthode Th-BCE correspond à la somme des surfaces des différents modules. Les coefficients de transmission thermique à la verticale et à l'horizontale doivent être considérés égaux entre eux et correspondent au $U_{cw, tot}$ calculé au paragraphe 2.15.1.1.5. L'inclinaison de la verrière doit être renseignée comme nulle.

2.15.1.2 Méthode détaillée

Dans le cas où l'un des modules de la verrière a une inclinaison supérieure à 30° , les modules d'inclinaison supérieure à 30° doivent être renseignés séparément pour chaque inclinaison et orientation :

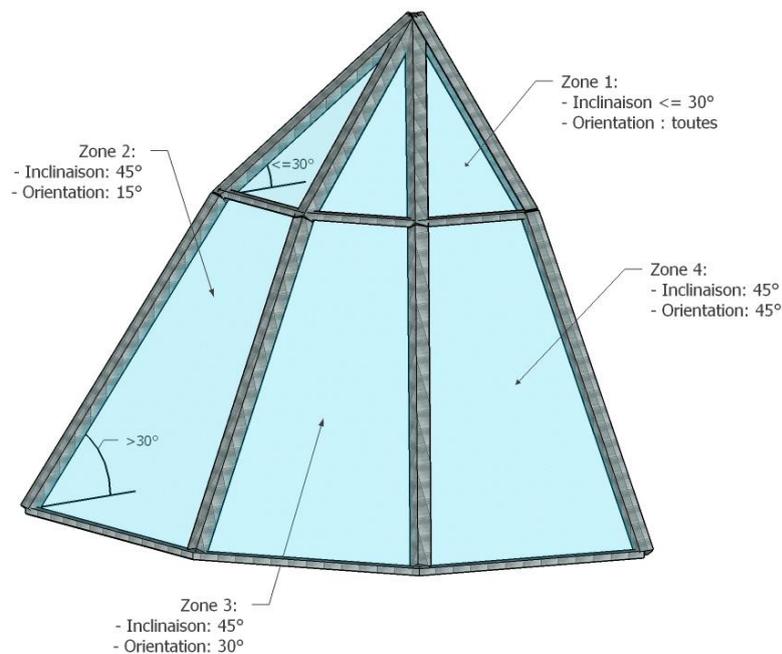


Figure 57 – Découpage de la verrière en zone selon l'inclinaison et l'orientation des modules

2.15.1.2.1 Division de la verrière en modules.

Les principes décrit au §.2.15.1.1.1 s'appliquent. Les modules d'inclinaisons inférieures à 30° peuvent être regroupés dans un module moyen calculé conformément au §.2.15.1.1.5. Les autres modules doivent être regroupés notamment en fonction de leur inclinaison et de leur orientation.

Nota : Si les modules ainsi définis recouvrent plusieurs groupes thermiques différents au sens de la méthode Th-BCE, ils doivent toutefois être redécoupés en conséquence.

2.15.1.2.2 Détermination des coefficients surfaciques $U_{gv,i}$ et $U_{gh,i}$ des vitrages de chaque module.

Deux valeurs de coefficient de transmission thermique des vitrages sont à considérer : une valeur pour un vitrage vertical $U_{gv,i}$ et une valeur pour un vitrage horizontal avec flux ascendant $U_{gh,i}$.

Les coefficients de transmission thermique surfaciques utiles $U_{gv,i}$ et $U_{gh,i}$ en partie centrale du vitrage i se calcule conformément à la norme NF EN 673.

2.15.1.2.3 Détermination des coefficients surfaciques et linéiques des autres éléments de chaque module.

Les autres éléments des modules se calculent conformément au §.2.15.1.1.3.

2.15.1.2.4 Détermination des coefficients surfaciques moyens $U_{cw,v,i}$ et $U_{cw,h,i}$ de chaque module.

Le calcul des coefficients surfaciques moyens à la verticale $U_{cw,v,i}$ et à l'horizontale $U_{cw,h,i}$ de chaque module se fait conformément au §.2.15.1.1.4 en considérant des valeurs de coefficient de transmission thermique de vitrage respectivement égales à $U_{gv,i}$ et $U_{gh,i}$, telles que calculées au §.2.15.1.1.2.

2.15.1.2.5 Renseignement de la verrière dans Th-BCE

La verrière se décrit dans ce cas sous la forme de plusieurs modules différents, il n'est pas possible de définir de coefficient moyen global de la verrière.

Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces des différents modules. Les coefficients de transmission thermique à la verticale $U_{cw,v,i}$ et à l'horizontale $U_{cw,h,i}$ sont ceux calculés au paragraphe 2.15.1.1.6. L'inclinaison et l'orientation de chaque module doivent être renseignées ; pour le module moyen regroupant les modules de pentes inférieures à 30°, une inclinaison nulle doit être appliquée.

2.15.2 Facteurs moyens de transmission solaire S_{cw} et lumineuse et TL_{cw} des verrières

- Cas des protections extérieures sans lames inclinées :

La méthode de calcul indiquée dans ce paragraphe reprend les principes décrits dans la norme XP P50-777. Une méthode simplifiée est proposée pour calculer le facteur de transmission solaire et lumineuse des vitrages. Dans le cas où l'un des vitrages de la verrière est muni de protections solaires, il est nécessaire de calculer également les facteurs S_{cws} et TL_{cws} correspondant à la verrière avec protections solaires pleinement déployées.

Cette méthode se limite à la prise en compte de protections solaires extérieures, sans lames inclinées et ne traite pas des brise-soleil. Les protections solaires doivent de plus avoir des caractéristiques de transmission et de réflexion énergétiques comprises dans la gamme suivante : $\tau_{e,B} < 0.5$ et $0.1 < \rho_{e,B} < 0.8$.

Note : de manière générale, toutes les hypothèses simplificatrices retenues dans cette méthode conduisent à surestimer les facteurs de transmission solaire et lumineux, ce qui est sécuritaire en terme de confort d'été. Pour les valeurs des facteurs solaires sans protection, il est considéré que les valeurs calculées sont valables aussi bien en condition de consommation qu'en condition de confort d'été ($S_{cw}^C = S_{cw}^F = S_{cw}$).

Un calcul détaillé des facteurs de transmission solaire et lumineuse des vitrages avec et sans protection solaire est également possible. Les facteurs de transmission solaire et lumineuse $S_{g,i}$, $S_{gs,i}$, $TL_{g,i}$, $TL_{gs,i}$ des vitrages de chaque module et leurs composantes ne sont alors pas calculées selon le §.2.15.2.1.2 du présent document mais conformément aux normes NF EN ISO 52022-3 et XP P50-777.

- Cas des protections extérieures avec lames inclinées :

Pour des protections solaires non couvertes par la méthode ci-dessous, un calcul détaillé des facteurs de transmission solaire et lumineuse des vitrages avec et sans protection solaire est possible. Les facteurs de transmission solaire et lumineuse $S_{g,i}$, $S_{gs,i}$, $TL_{g,i}$, $TL_{gs,i}$ des vitrages de chaque module et leurs composantes ne sont alors pas calculées selon le §.2.15.2.1.2 du présent document mais conformément aux normes NF EN ISO 52022-3 et XP P50-777, en particulier son Annexe A concernant les stores à lames

2.15.2.1 Méthode simplifiée pour verrière d'inclinaison inférieure à 30°

Si tous les modules d'une verrière ont une pente inférieure à 30°, la méthode simplifiée suivante qui considère les vitrages horizontaux peut s'appliquer. Elle évite le découpage de la verrière selon leurs orientations et permet ainsi de définir des facteurs de transmission de l'énergie solaire et lumineuse moyens $S_{cw,tot}$ et $TL_{cw,tot}$ (et leurs composantes) pour l'ensemble de la verrière.

Pour calculer les composantes des facteurs de transmission moyens de la verrière, on procède de la manière suivante :

2.15.2.1.1 Division de la verrière 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 verrière. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

2.15.2.1.2 Détermination des facteurs de transmission solaire et lumineuse $S_{g,i}$, $S_{gs,i}$, $TL_{g,i}$, $TL_{gs,i}$ des vitrages de chaque module, et de leurs composantes.

Si le vitrage n'est pas muni de protection solaire :

$$\left. \begin{array}{l} S_{g1,i} = \tau_e \\ S_{g2,i} = g - \tau_e \\ S_{g3,i} = 0 \end{array} \right\} S_{g,i} = S_{g1,i} + S_{g2,i} + S_{g3,i} \quad (\text{Formule 109}) ;$$

$$\left. \begin{array}{l} TL_{g,i} = \tau_v \\ TL_{g,i,dif} = 0 \end{array} \right\} \quad (\text{Formule 110}) ;$$

Si le vitrage est muni d'une protection solaire extérieure, les facteurs avec protection solaire extérieure déployée se calculent à l'aide des formules suivantes :

$$S_{gs1,i} = \frac{\tau_e \cdot \tau_{e,B}}{1 - \rho_e \cdot \rho'_{e,B}} \left. \begin{array}{l} S_{gs2,i} = 0.02 + \tau_{e,B} \cdot g + \frac{1 - \tau_{e,B} - \rho_{e,B}}{10 \cdot \left(\frac{1}{U_{gh,i}} + 0.3 \right)} + \frac{\tau_{e,B} \cdot (1 - g)}{5 \cdot \left(\frac{1}{U_{gh,i}} + 0.3 \right)} - \frac{\tau_e \cdot \tau_{e,B}}{1 - \rho_e \cdot \rho'_{e,B}} \\ S_{gs3,i} = 0 \end{array} \right\} S_{gs,i} = S_{gs1,i} + S_{gs2,i} + S_{gs3,i} \quad (\text{Formule 111}) ;$$

$$\left. \begin{array}{l} TL_{gsi} = \frac{\tau_v \cdot \tau_{v,B}}{1 - \rho_v \cdot \rho'_{v,B}} \\ TL_{gsi,dif} = \frac{\tau_v \cdot \tau_{v,B,dif}}{1 - \rho_v \cdot \rho'_{v,B}} \end{array} \right\} \quad (\text{Formule 112}) ;$$

Où τ_e , τ_v , ρ_e , ρ_v et g sont les caractéristiques globales du vitrage nu, déterminées selon la norme NF EN 410. $\tau_{e,B}$, $\tau_{v,B}$ et $\tau_{v,B,dif}$ sont les caractéristiques de la protection solaire diffusante, déterminées selon la norme NF EN 14500.

$U_{gh,i}$ étant le coefficient de transmission surfacique utile du vitrage i , déterminé à l'horizontale conformément aux §.2.15.1.1.2.

Note 1 : ces formules sont basées sur la norme simplifiée NF EN ISO 52022-1 avec l'ajout d'un coefficient majorateur permettant de s'assurer que la valeur de facteur solaire obtenu est supérieure à la valeur précise pour être sécuritaire en terme de confort estival et dimensionnement des charges de refroidissement.

Note 2 : ces formules sont valables sous l'hypothèse que l'impact de l'inclinaison du vitrage sur le facteur solaire est de second ordre. Sous cette hypothèse et par volonté de cohérence, les U_{gi} des formules sont les mêmes que ceux calculés avec flux ascendant, bien qu'en situation estivale le flux soit descendant.

2.15.2.1.3 Détermination des facteurs de transmission solaire des autres éléments opaques de chaque module.

En l'absence de protection solaire extérieure ou si cette protection solaire n'est pas munie de coulisses et recouvre moins de 80 % de la surface du cadre ou du panneau de remplissage opaque :

$$\begin{aligned} S_{f,i} &= \frac{\alpha_{f,i} \cdot U_{f,i}}{25} \\ S_{p,i} &= \frac{\alpha_{p,i} \cdot U_{p,i}}{25} \end{aligned} \quad \text{(Formule 113) ;}$$

En présence de protection solaire extérieure ou si cette protection solaire est munie de coulisses ou recouvre plus de 80 % de la surface du cadre ou du panneau de remplissage opaque :

$$\begin{aligned} S_{fs,i} &= \tau_{e,B} \cdot \frac{\alpha_{f,i} \cdot U_{f,i}}{25} + \frac{1 - \tau_{e,B} - \rho_{e,B}}{10 \cdot \left(\frac{1}{U_{f,i}} + 0.3 \right)} + \frac{\tau_{e,B} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_{f,i} \cdot U_{f,i}}{25} \right)}{5 \cdot \left(\frac{1}{U_{f,i}} + 0.3 \right)} \\ S_{ps,i} &= \tau_{e,B} \cdot \frac{\alpha_{p,i} \cdot U_{p,i}}{25} + \frac{1 - \tau_{e,B} - \rho_{e,B}}{10 \cdot \left(\frac{1}{U_{p,i}} + 0.3 \right)} + \frac{\tau_{e,B} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_{p,i} \cdot U_{p,i}}{25} \right)}{5 \cdot \left(\frac{1}{U_{p,i}} + 0.3 \right)} \end{aligned} \quad \text{(Formule 114) ;}$$

Où $U_{f,i}$ et $U_{p,i}$ sont calculés conformément au §.0.

Les coefficients d'absorption énergétiques du cadre et des parties opaques peuvent être mesurés à l'aide de la norme NF EN 410 ; à défaut de mesure, les valeurs suivantes, issues de l'Annexe D de la norme XP P50-777, peuvent être utilisées :

- pour les couleurs claires (blanc, jaune, orange, rouge clair) : $\alpha_{f,p} = 0,4$
- pour les couleurs moyenne (rouge sombre, vert clair, bleu clair, gris clair) : $\alpha_{f,p} = 0,6$
- pour les couleurs sombre (brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen) : $\alpha_{f,p} = 0,8$
- pour les couleurs foncées (noir, brun sombre, bleu sombre, gris sombre), $\alpha_{f,p} = 1,0$

2.15.2.1.4 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen $S_{cw,i}$ et $TL_{cw,i}$ de chaque module.

$$S_{cw1,i} = \frac{\sum S_{g1} A_g}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad \text{(Formule 115) ;}$$

$$S_{cw2,i} = \frac{\sum S_{g2} A_g + \sum S_{fs} A_f + \sum S_{ps} A_p}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad \text{(Formule 116) ;}$$

$$S_{cws1,i} = \frac{\sum S_{gs1} A_g}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad \text{(Formule 117) ;}$$

$$S_{cws2,i} = \frac{\sum S_{gs2} A_g + \sum S_{fs} A_f + \sum S_{ps} A_p}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad \text{(Formule 118) ;}$$

$$S_{cw3,i} = S_{cws3,i} = 0 \quad (\text{Formule 119}) ;$$

$$TL_{cw,i} = \frac{\sum TL_g A_g}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad (\text{Formule 120}) ;$$

$$TL_{cw,dif,i} = \frac{\sum TL_{g,dif} A_g}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad (\text{Formule 121}) ;$$

où

$A_g^{(1)}$ est la plus petite aire visible du vitrage, vue des deux côtés de la paroi en m². On ne tient pas compte des débordements des joints.

$A_f^{(1)}$ est la plus grande aire projetée de la menuiserie prise sans recouvrement, vue des deux côtés de la paroi, en m².

$A_p^{(1)}$ est la plus petite aire visible du panneau opaque, vue des deux côtés de la paroi en m². On ne tient pas compte des débordements des joints.

S_{g1} est la composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire, déterminée suivant le §.2.15.2.1.2.

S_{gs1} est la composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire avec protection solaire, déterminée suivant le §.2.15.2.1.2.

S_{g2} est la composante réémission du facteur de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire, déterminée suivant le §.2.15.2.1.2.

S_{gs2} est la composante réémission du facteur de transmission de l'énergie solaire avec protection solaire, déterminée suivant le §.2.15.2.1.2.

S_f est le facteur solaire du cadre sans protection solaire, déterminé suivant le §.2.15.2.1.3.

S_{fs} est le facteur solaire du cadre avec protection solaire, déterminé suivant le §.2.15.2.1.3.

S_p est le facteur solaire de l'élément de remplissage opaque sans protection solaire, déterminé suivant le §.2.15.2.1.3.

S_{ps} est le facteur solaire de l'élément de remplissage opaque avec protection solaire, déterminé suivant le §.2.15.2.1.3.

⁽¹⁾ 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 :

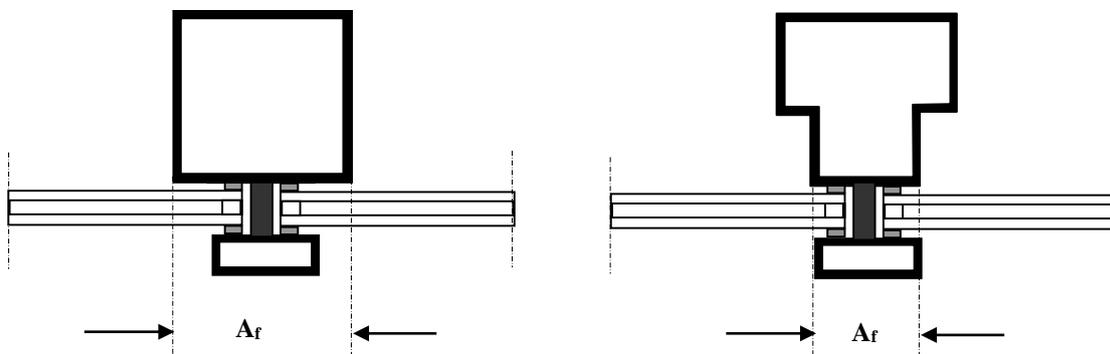


Figure 58 – Aires projetées visibles de la menuiserie

2.15.2.1.5 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyens de la verrière

Les composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyens de la verrière se calculent d'après les formules suivantes :

$$S_{cw1,tot} = \frac{\sum (S_{cw1i} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}} \quad \text{(Formule 122) ;}$$

$$S_{cw2,tot} = \frac{\sum (S_{cw2i} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}} \quad \text{(Formule 123) ;}$$

$$TL_{cw,tot} = \frac{\sum (TL_{cwi} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}} \quad \text{(Formule 124) ;}$$

$$TL_{cw,dif,tot} = \frac{\sum (TL_{cw,dif,i} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}} \quad \text{(Formule 125) ;}$$

Où

- $X_{cw,tot}$ sont les facteurs moyens de la verrière
- X_{cwi} sont les facteurs moyens du module i, déterminés au §.2.15.2.1.4.
- A_{cwi} est l'aire du module i, en m²

2.15.2.1.6 Renseignement de la verrière dans Th-BCE

La surface à renseigner dans la méthode Th-BCE correspond à la somme des surfaces des différents modules. Les différentes composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse déterminées précédemment au paragraphe 2.15.2.1.5 doivent être renseignées. Les valeurs sans protection solaire en condition de consommation peuvent être prise égales à celles en condition de confort d'été et égales aux composantes S_{cw} ($S_{cw}^C = S_{cw}^E = S_{cw}$).

L'inclinaison de la verrière doit être renseignée comme nulle.

2.15.2.2 Méthode détaillée

Dans le cas où l'un des modules de la verrière a une inclinaison supérieure à 30°, les modules d'inclinaison supérieure à 30° doivent être renseignés séparément pour chaque inclinaison et orientation :

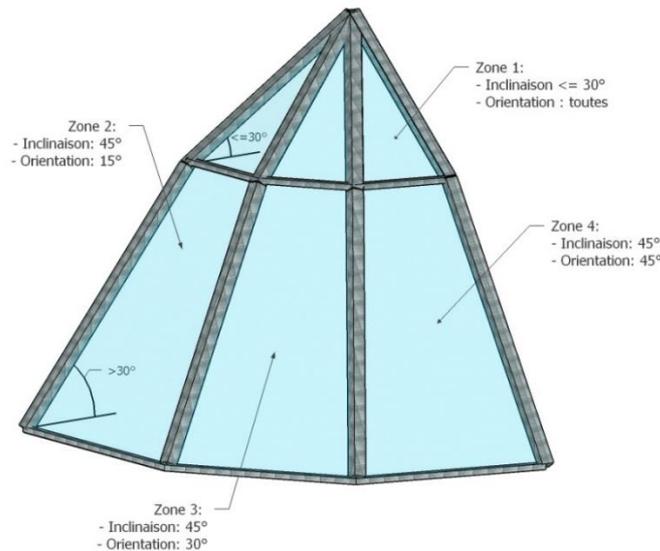


Figure 59 – Découpage de la verrière en zone selon l'inclinaison et l'orientation des modules

2.15.2.2.1 Division de la verrière en modules.

Les principes décrits au §.2.15.2.1.1 s'appliquent. Les modules d'inclinaisons inférieures à 30° peuvent être regroupés dans un module moyen calculé conformément au §.2.15.2.1.5. Les autres modules doivent être regroupés notamment en fonction de leur inclinaison et de leur orientation.

2.15.2.2.2 Détermination des facteurs de transmission solaire et lumineuse $S_{g,i}$, $S_{gs,i}$, $TL_{g,i}$, $TL_{gs,i}$ des vitrages de chaque module, et de leurs composantes.

L'inclinaison n'a pas d'impact significatif sur le facteur solaire déterminé à incidence normale. Les valeurs de chaque module sont donc calculées selon le §.2.15.2.1.2 quelles que soient leurs inclinaisons.

Note : en toute rigueur un correctif pour prendre en compte les incidences rasantes devrait être appliqué pour les fortes inclinaisons (>65%). Du fait des simplifications déjà utilisées, de la rareté de ces inclinaisons en verrière, du faible impact de cette correction et par souci de simplification, ce correctif n'est pas retenu.

2.15.2.2.3 Détermination des facteurs de transmission solaire des autres éléments opaques de chaque module.

Les autres éléments opaques des modules se calculent conformément au §.2.15.2.1.3.

2.15.2.2.4 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen $S_{cw,i}$ et $TL_{cw,i}$ de chaque module.

Le calcul de chaque module se fait à l'aide des formules du §.2.15.2.1.4.

2.15.2.2.5 Renseignement de la verrière dans Th-BCE

La verrière se décrit dans ce cas sous la forme de plusieurs modules différents, il n'est pas possible de définir de coefficient moyen global de la verrière.

Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces des différents modules. Les différentes composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse sont ceux calculés au paragraphe 2.15.2.2.4. Les valeurs sans protection solaire en condition de consommation peuvent être prises égales à celles en condition de confort d'été et égales aux composantes S_{cw} ($S_{cw}^C = S_{cw}^E = S_{cw}$).

L'inclinaison et l'orientation de chaque module doivent être renseignées ; pour le module moyen regroupant les modules de pentes inférieures à 30°, une inclinaison nulle doit être appliquée.

2.16 Vérandas

Les coefficients de transmission thermiques $U_{ue,i}$, les facteurs de transmission solaires et les facteurs de transmission lumineuse doivent être calculés pour chaque élément de la véranda possédant une orientation ou une inclinaison différente :

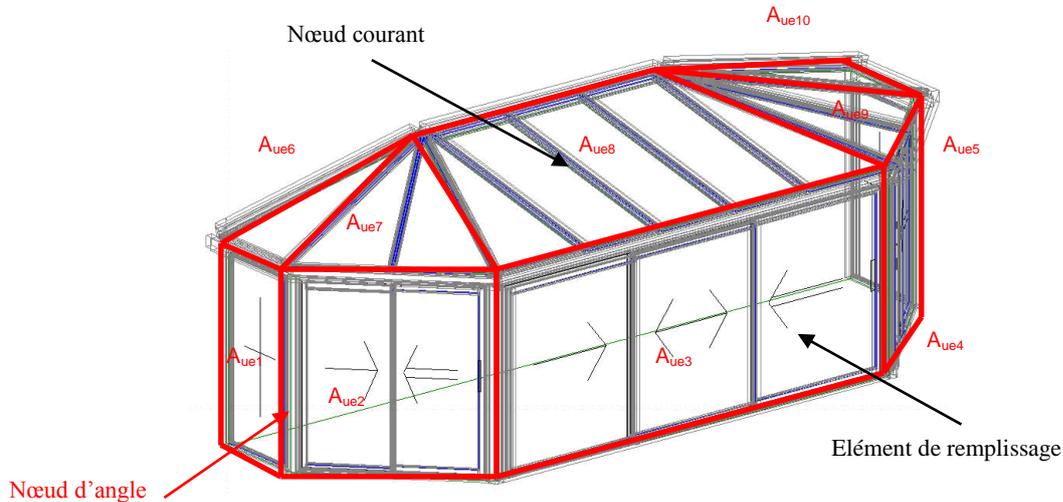


Figure 60 – Schéma d'une véranda

Le principe général du calcul consiste à séparer chaque surface considérée en éléments de remplissage et en nœuds d'ossature. Les éléments de remplissage peuvent être des fenêtres complètes (avec leurs menuiseries), ou des vitrages seuls, des panneaux opaques ou des panneaux en polycarbonate (notamment en couverture).

On distinguera de plus les nœuds « courants » liant deux éléments de remplissage d'orientation et d'inclinaison identiques des nœuds « d'angles » liant deux éléments de remplissage d'orientation et d'inclinaison différentes.

Le principe consiste à calculer les ponts thermiques intégrés propres aux profilés de l'ossature puis à déterminer les valeurs de coefficients de transmission thermique surfacique des éléments de remplissage d'une part ainsi que les ponts thermiques correspondant à l'interaction entre les éléments de remplissage et les profilés de l'ossature.

2.16.1 Coefficient de transmission thermique U_v de la véranda

Le coefficient de transmission thermique U_v de la véranda se calcule comme suit :

$$U_v = \frac{\sum_i (U_{ue,i} \times A_{ue,i})}{\sum_i A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 126});$$

où

$U_{ue,i}$: coefficient de transmission thermique de la paroi i pour chaque orientation et inclinaison (cf. §. 2.16) ;

$A_{ue,i}$: surface intérieure développée de l'élément i , définie par la surface comprise entre les intersections des plans côté intérieur de la véranda, en m^2 .

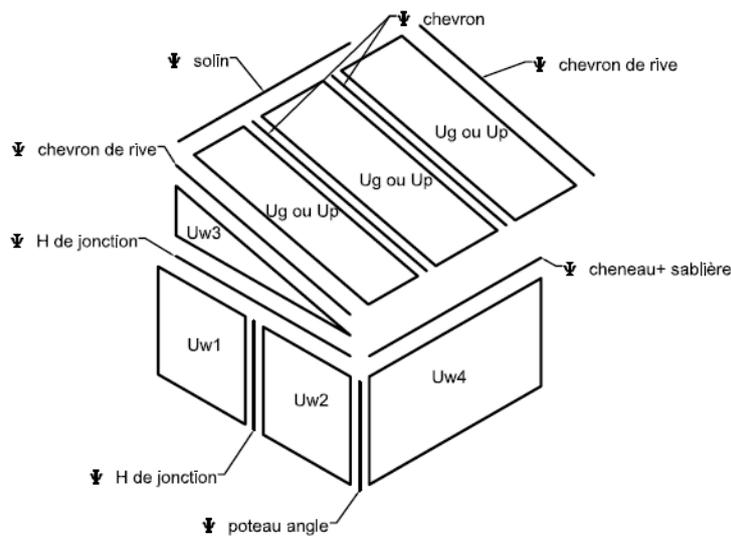


Figure 61 – Découpage de la véranda

Nota : la méthode globale de la norme NF EN ISO 12631, consistant à considérer chaque nœud comme un pont thermique Ψ équivalent, peut également s'appliquer en considérant les conventions géométriques et les conditions aux limites, pour les nœuds d'angle, décrites ci-dessous.

2.16.1.1 Coefficients de transmission thermique $U_{ue,i}$

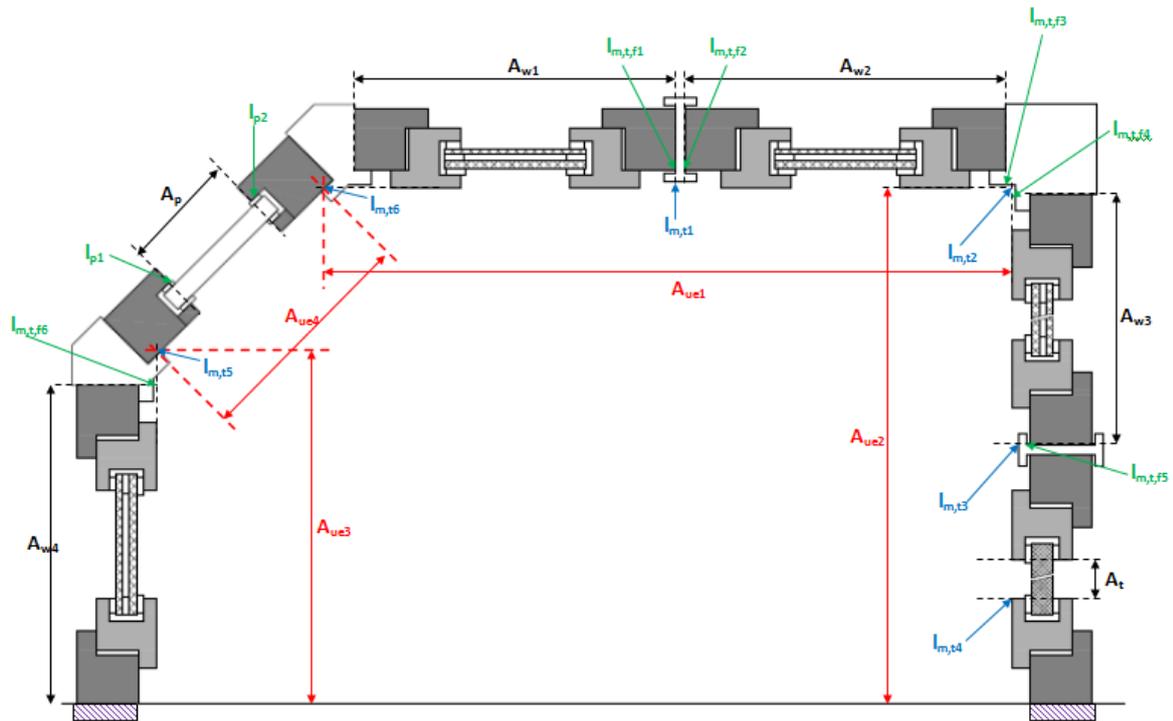


Figure 62 – Découpage de la véranda en coupes

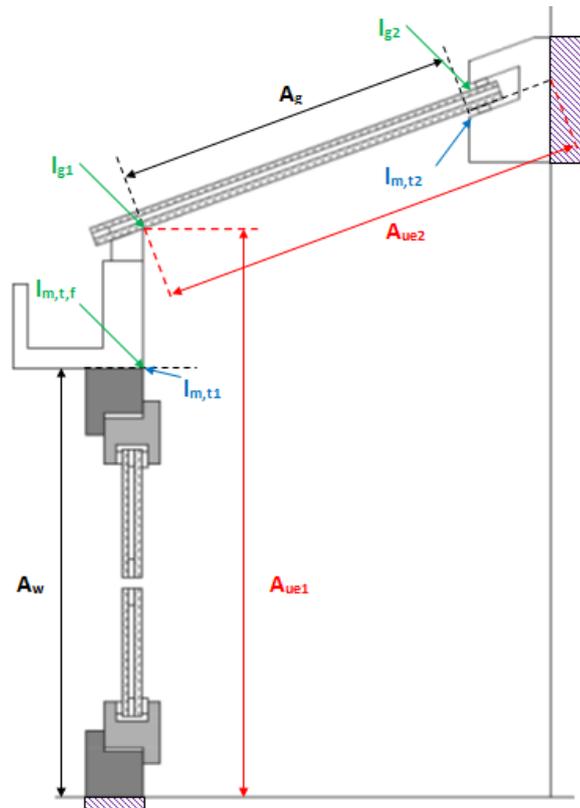


Figure 63 – Découpage entre une paroi verticale et une paroi inclinée

Pour chaque orientation et inclinaison, le coefficient de transmission thermique $U_{ue,i}$ de la paroi s'obtient par la formule suivante :

$$U_{ue,i} = \frac{\sum A_w \cdot U_w + \sum A_g \cdot U_g + \sum A_p \cdot U_p + \sum A_t \cdot U_t + \sum l_{m,t} \cdot \Psi_{m,t}^* + \sum l_g \cdot \Psi_g + \sum l_p \cdot \Psi_p + \sum l_{m,t,f} \cdot \Psi_{m,t,f}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 127}) ;$$

où :

- A_w : la plus petite surface intérieure de la fenêtre intégrée à la véranda, vue des deux côtés de la paroi, en m^2 .
- U_w : coefficient de transmission thermique surfacique utile de la fenêtre intégrée à la véranda, en $W/(m^2.K)$, déterminé par le paragraphe 2.1.1 ;
- A_g : la plus petite surface des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi, en m^2 , sans tenir compte des débordements des joints, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda ;
- U_g : coefficient de transmission thermique surfacique utile en partie centrale des vitrages, en $W/(m^2.K)$, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda ;
- A_p : la plus petite surface des aires visibles des panneaux opaques, vues des deux côtés de la paroi, en m^2 ;
- U_p : coefficient de transmission thermique surfacique utile des panneaux opaques, en $W/(m^2.K)$, déterminé avec le document Méthodes - fascicule Parois opaques, en tenant compte des ponts thermiques intégrés au panneau ;
- A_t : la plus petite surface des aires visibles des panneaux translucides en polycarbonate, vues des deux côtés de la paroi, en m^2 ;
- U_t : coefficient de transmission thermique surfacique utile des panneaux translucides en polycarbonate, en $W/(m^2.K)$, déterminé par le paragraphe 2.16.1.4 ;
- $l_{m,t}$: linéique du montant ou de la traverse d'ossature, défini par l'intersection des deux plans intérieurs pour un nœud d'angle et à l'axe du profilé pour un nœud courant, en m.
- $\Psi_{m,t}^*$: coefficient de transmission thermique linéique du montant ou de la traverse d'ossature, en $W/(m.K)$. Si le nœud se situe en angle, $\Psi_{m,t}^* = \Psi_{m,t} / 2$, sinon $\Psi_{m,t}^* = \Psi_{m,t}$. Le coefficient de transmission thermique linéique du montant ou de la traverse d'ossature $\Psi_{m,t}$ est déterminé selon le paragraphe 2.16.1.2.1 ;
- $A_{ue,i}$: surface intérieure développée de l'élément i, définie par la surface comprise entre les intersections des plans côté intérieur de la véranda, en m^2 ;
- l_p : linéique de la jonction entre profilé et panneau de remplissage opaque, en m ;
- Ψ_p : coefficient de transmission thermique linéique de la jonction profilé / panneau de remplissage opaque, en $W/(m.K)$, déterminé par le paragraphe 2.16.1.2 ;
- l_g : linéique de la jonction profilé / vitrage, en m, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda ;
- Ψ_g : coefficient de transmission thermique linéique de la jonction profilé / vitrage, en $W/(m.K)$, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, déterminé par le paragraphe 2.16.1.2 ;
- $l_{m,t,f}$: linéique de la jonction entre profilé des fenêtre et profilé de structure, en m ;
- $\Psi_{m,t,f}$: coefficient de transmission thermique linéique de la jonction entre profilé des fenêtre et profilé de structure, en $W/(m.K)$, déterminé à partir du §. 2.16.1.3.

Nota 1 : un coefficient de transmission thermique linéique spécifique dû à la jonction entre panneau polycarbonate et montant devrait être défini (par analogie aux Ψ_g et Ψ_p pour les remplissages opaques ou vitrés). Toutefois en l'absence d'intercalaire sur ces éléments PCA, son impact est négligé.

2.16.1.2 Coefficient de transmission thermique linéique Ψ_g et Ψ_p des jonctions profilé/vitrage et profilé/panneau

Les coefficients Ψ_g et Ψ_p se calculent en suivant le même principe que celui défini dans la norme NF EN ISO 10077-2 en remplaçant les coefficients U_f des profilés d'ossature par un coefficient linéique $\Psi_{m,t}$:

Dans le cas où un seul élément de remplissage est présent :

$$\Psi_g = \frac{\varphi}{\Delta T} - l_g \cdot U_g - \Psi_{m,t} \quad (\text{Formule 128}) ;$$

$$\Psi_p = \frac{\varphi}{\Delta T} - l_p \cdot U_p - \Psi_{m,t} \quad (\text{Formule 129}) ;$$

Dans le cas où deux éléments de remplissage sont présents de part et d'autre du profilé :

$$\Psi_g = \frac{\frac{\varphi}{\Delta T} - l_{g1} \cdot U_{g1} - l_{g2} \cdot U_{g2} - \Psi_{m,t}}{2} \quad (\text{Formule 130}) ;$$

$$\Psi_p = \frac{\frac{\varphi}{\Delta T} - l_{p1} \cdot U_{p1} - l_{p2} \cdot U_{p2} - \Psi_{m,t}}{2} \quad (\text{Formule 131}) ;$$

Où :

- φ : densité de flux thermique traversant le modèle numérique représentant le vitrage (ou le panneau) et son intercalaire, en W/m ;
- ΔT : différence de température entre les ambiances chaudes et froides, en K ;
- l_g, l_p : largeur du vitrage (ou du panneau) dans le modèle numérique ;
- U_g, U_p : coefficient de transmission thermique du vitrage (ou du panneau), déterminé à partir selon la norme NF EN 673. (ou du document Méthodes - fascicule Parois opaques des règles Th-Bât dans le cas d'un panneau) ;
- $\Psi_{m,t}$: coefficient de transmission thermique linéique du profilé d'ossature, en W/(m.K), déterminé à partir du paragraphe 2.16.1.2.1.

Nota : le coefficient Ψ_g ne doit être calculé que pour un vitrage non intégré à une fenêtre, quand un composant fenêtre est intégré à la véranda, le coefficient Ψ_g de cette fenêtre est déjà pris en compte dans le coefficient de transmission thermique U_w de la fenêtre.

2.16.1.2.1 Coefficient de transmission thermique linéique $\Psi_{m,t}$ des profilés d'ossature

Le coefficient $\Psi_{m,t}$ correspond aux transmissions thermiques dus au profilé d'ossature il est calculé indépendamment des profilés des fenêtres intégrées dans la véranda.

2.16.1.2.2 Conditions aux limites

Les conditions aux limites réduites sont applicables suivant la norme NF EN ISO 10077-2. Quel que soit le sens du flux, une condition réduite n'excédera pas 30 mm de part et d'autre d'un angle, en cas d'ambiguïté la surface conduisant à la condition réduite la moins étendue sera considérée :

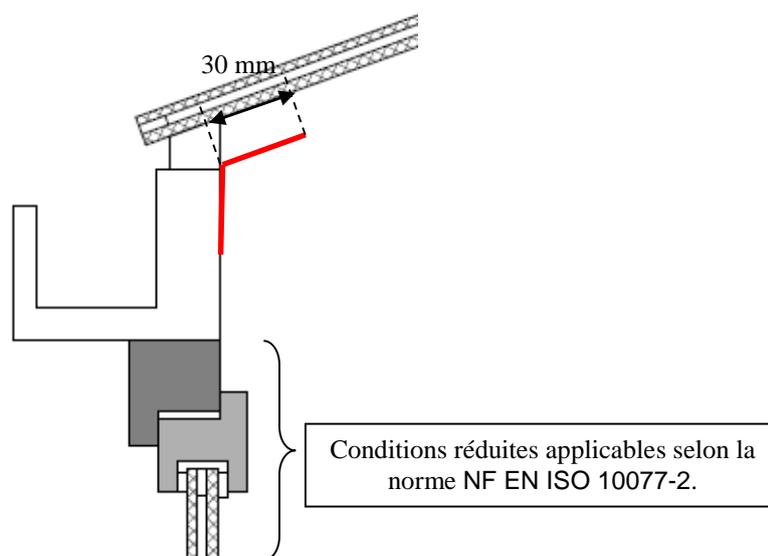


Figure 64 – Conditions aux limites

2.16.1.2.3 Pont thermique des profilés d'ossature $\Psi_{m,t}$

Le coefficient $\Psi_{m,t}$ s'obtient à l'aide d'un modèle numérique dans lequel les profilés des fenêtres sont remplacés par une zone adiabatique et les éléments de remplissage autres que les vitrages propres des fenêtres sont remplacés par un panneau de conductivité thermique égale à 0,035 W/(m.K).

Pour un profilé d'ossature liant deux fenêtres (en angle ou en partie plane), le coefficient $\Psi_{m,t}$ s'obtient à l'aide d'un modèle numérique dans lequel les profilés des fenêtres adjacentes sont remplacés par des zones adiabatiques définies par les zones de contact les plus grandes possibles entre profilés d'ossature et profilés de fenêtre :

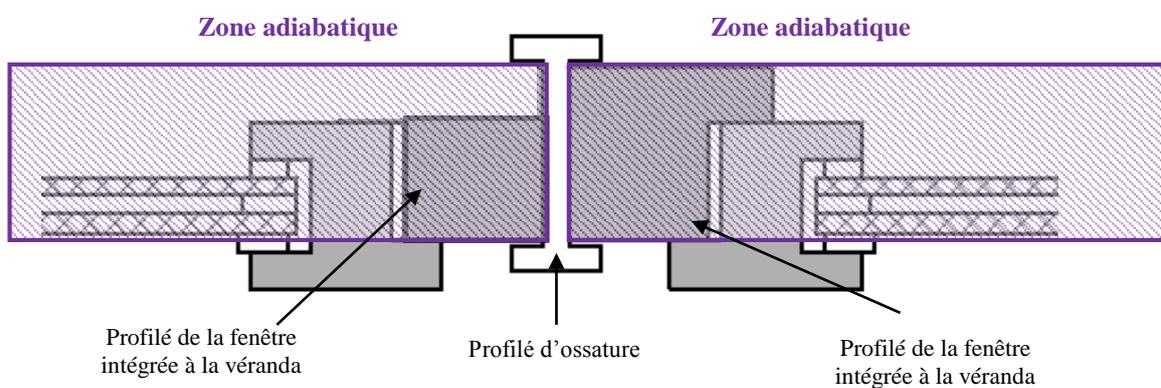


Figure 65 – Coupe d'un profilé d'ossature liant deux fenêtres (partie plane)

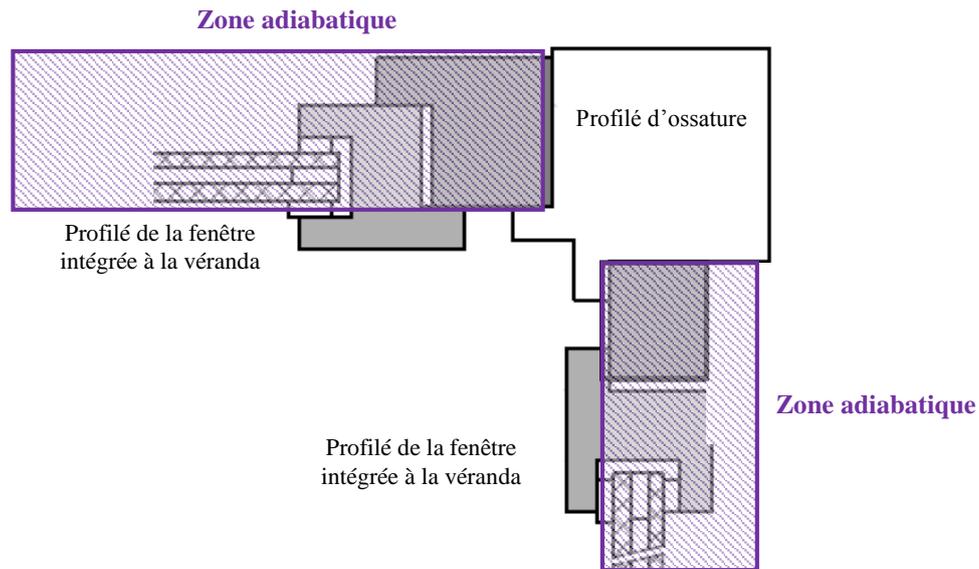


Figure 66 – Coupe d'un profilé d'ossature liant deux fenêtres (en angle)

$$\Psi_{m,t} = \frac{\varphi}{\Delta T} \quad (\text{Formule 132}) ;$$

Où :

- φ : Densité de flux thermique traversant le modèle numérique, en W/m ;
- ΔT : Différence de température entre les ambiances chaudes et froides, en K.

Pour des profilés d'ossature liant une fenêtre à un autre remplissage (PCA ou panneau opaque) ou liant deux remplissages (PAC ou panneau opaque), le coefficient $\Psi_{m,t}$ s'obtient à l'aide d'un modèle numérique dans lequel les profilés des fenêtres sont remplacés par une zone adiabatique et les autres éléments de remplissage sont remplacés par un panneau de conductivité thermique égale à 0,035 W/(m.K).

Les zones adiabatiques sont définies par les zones de contact les plus grandes possible entre profilés d'ossature et profilés de fenêtre :

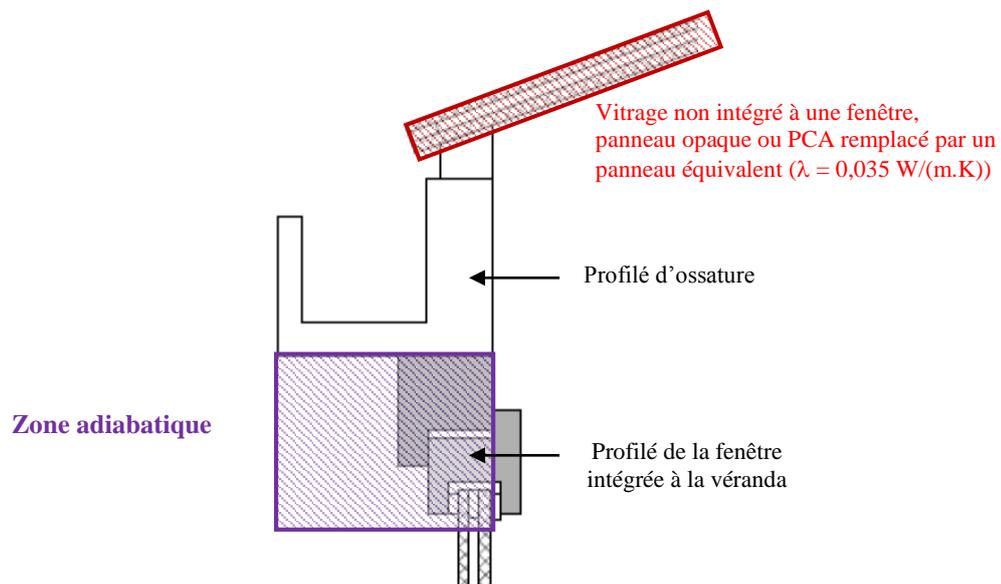


Figure 67 – Coupe d'un profilé d'ossature liant une fenêtre à un autre remplissage (PCA ou panneau opaque)

$$\psi_{m,t} = \frac{\varphi}{\Delta T} - l_{p1} \cdot U_{p1} \quad (\text{Formule 133}) ;$$

Où :

- φ : Densité de flux thermique traversant le modèle numérique, en W/m ;
- ΔT : Différence de température entre les ambiances chaudes et froides, en K ;
- l_{p1} : largeur du panneau équivalent 1 dans le modèle numérique (considérer $l_{p1} \geq 0,19 \text{ m}$) ;
- U_{p1} : Coefficient de transmission thermique du panneau équivalent 1, déterminé à partir du document Méthodes - fascicule Parois opaques des règles Th-Bât.

2.16.1.3 Coefficient de transmission thermique linéique $\Psi_{m,t,f}$ des jonctions entre profilés d'ossature et profilé d'encadrement des fenêtres

2.16.1.3.1 Méthode de calcul

Le coefficient $\Psi_{m,t,f}$ se calcule à partir d'un modèle complet intégrant le profilé d'ossature, le (ou les) profilé(s) de fenêtre et dans lequel tous les éléments de remplissage sont remplacés par un panneau équivalent de conductivité thermique égale à 0,035 W/(m.K).

Dans le cas d'une sablière ou d'un profilé d'ossature en contact avec un mur :

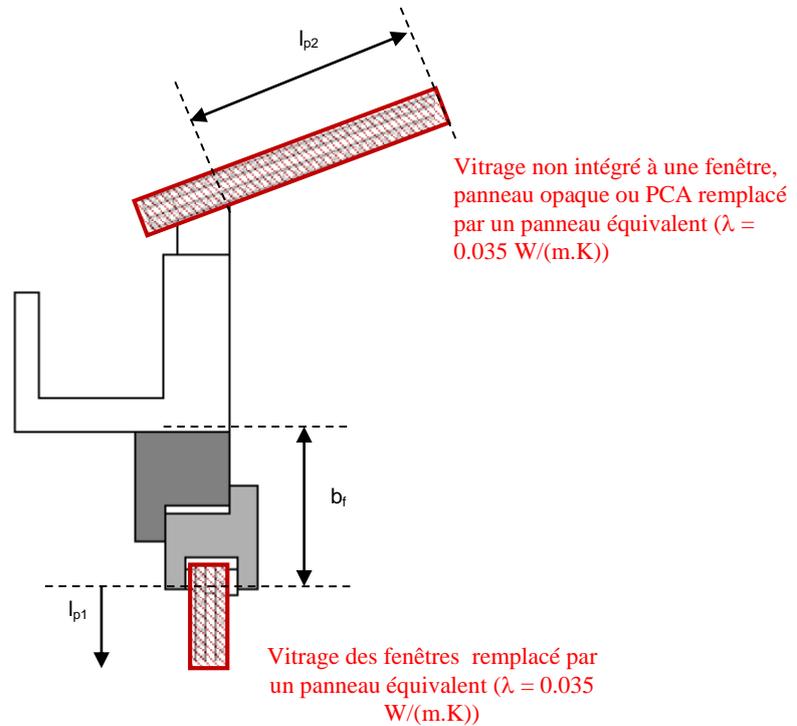


Figure 68 – Coupe d'une sablière ou d'un profilé d'ossature en contact avec un mur

$$\Psi_{m,t,f} = \frac{\varphi}{\Delta T} - l_{p1} \cdot U_{p1} - l_{p2} \cdot U_{p2} - b_f \cdot U_f - \Psi_{m,t} \quad (\text{Formule 134}) ;$$

Dans le cas où le profilé d'ossature est en contact avec deux fenêtres adjacentes :

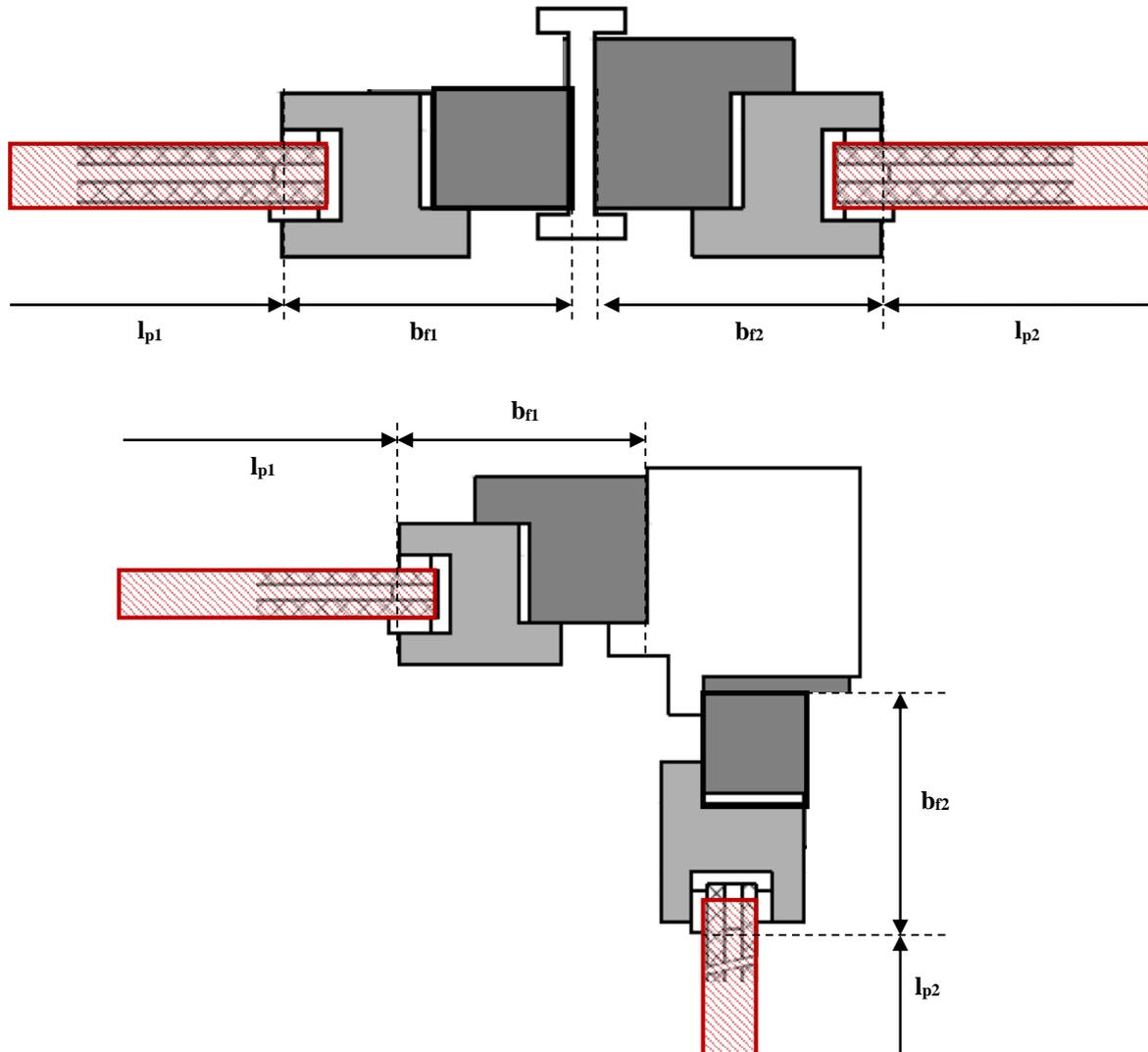


Figure 69 – Coupe d'un profilé d'ossature est en contact avec deux fenêtres adjacentes

$$\Psi_{m,t,f} = \frac{\frac{\varphi}{\Delta T} - l_{p1} \cdot U_{p1} - l_{p2} \cdot U_{p2} - b_{f1} \cdot U_{f1} - b_{f2} \cdot U_{f2} - \psi_{m,t}}{2} \quad (\text{Formule 135}) ;$$

Où :

- φ : densité de flux thermique traversant le modèle numérique, en W/m ;
- ΔT : différence de température entre les ambiances chaudes et froides, en K ;
- l_{p1} : largeur du panneau équivalent 1 dans le modèle numérique (considérer $l_{p1} \geq 0,19$ m) ;
- U_{p1} : coefficient de transmission thermique du panneau équivalent 1, déterminé à partir du document Méthodes – Parois opaques des règles Th-Bât ;

- l_{p2} : largeur du panneau équivalent 2 dans le modèle numérique (considérer $l_{p2} \geq 0,19$ m) ;
- U_{p2} : coefficient de transmission thermique du panneau équivalent 2, déterminé à partir du document Méthodes - Parois opaques des règles Th-Bât ;
- b_{r1} : largeur du profilé 1, défini dans la norme NF EN ISO 10077-2 ;
- U_{r1} : coefficient de transmission thermique du profilé 1, défini dans la norme NF EN ISO 10077-2 ;
- b_{r2} : largeur du profilé 2, défini au paragraphe dans la norme NF EN ISO 10077-2 ;
- U_{r2} : coefficient de transmission thermique du profilé 2, défini au paragraphe dans la norme NF EN ISO 10077-2 ;
- $\Psi_{m,t}$: coefficient de transmission thermique linéique du profilé d'ossature, déterminé selon le paragraphe 2.16.1.2.3.

2.16.1.3.2 Valeurs par défaut

A défaut de calcul selon le paragraphe § 2.16.1.3.1, les valeurs par défauts suivantes peuvent être utilisées pour le coefficient de transmission thermique linéique $\Psi_{m,t,f}$ des jonctions entre profilés d'ossature et profilés d'encadrement des fenêtres.

Tableau XIV - Coefficient $\Psi_{m,t,f}$ pour tout type d'ossature :

Profilés	$\Psi_{m,t,f}$ en W/(m.K)
Ossature avec RPT fenêtre sans RPT	0,30
Ossature sans RPT fenêtre avec RPT	0,30
Ossature avec RPT fenêtre avec RPT non alignée *	0,30
Ossature sans RPT fenêtre sans RPT	0,05
* RPT de la partie fixe de la fenêtre non alignée avec la RPT de l'ossature	

Tableau XV - Coefficient $\Psi_{m,t,f}$ dans le cas où la RPT de la partie fixe de la fenêtre est alignée avec la RPT du profilé d'ossature :

Profilé d'ossature	Profilés de fenêtre	$\Psi_{m,t,f}$ en W/(m.K)
Sablière	Frappe	0,10
	Coulissant deux vantaux	0,15
	Coulissant trois vantaux	0,30
Montant	Coulissant intérieur trois vantaux + frappe	0,30
	Coulissant intérieur deux vantaux + frappe	0,15
	Autres	0,05
Montant angle < 120°	Deux coulissants intérieurs deux vantaux	0,05
	Deux coulissants extérieurs deux vantaux ou deux frappes ou frappe-coulissant deux vantaux	0,15
	Deux coulissants extérieurs trois vantaux ou frappe-coulissant trois vantaux	0,30

2.16.1.4 Coefficient de transmission thermique des éléments de remplissage en polycarbonate U_t

Le coefficient de transmission thermique du panneau translucide polycarbonate U_t se calcule à partir de la formule suivante :

$$U_t = \frac{\varphi}{\Delta T \cdot b_t} \quad (\text{Formule 136}) ;$$

Avec :

φ : Flux thermique linéique traversant un modèle numérique de la plaque polycarbonate, en W/m ;

ΔT : Différence de température entre les ambiances chaudes et froides, en K ;

b_t : Largeur du modèle numérique, en m. Dans le cas où le panneau en polycarbonate comporte des emboitements sans profilés apparents, le modèle numérique doit être centré sur l'emboitement et sa largeur doit correspondre à la largeur des panneaux. Si les panneaux sont joints par des profilés apparents, ces profilés sont calculés sous forme de $\Psi_{m,t}$ (cf. paragraphe 2.16.1.2.3).

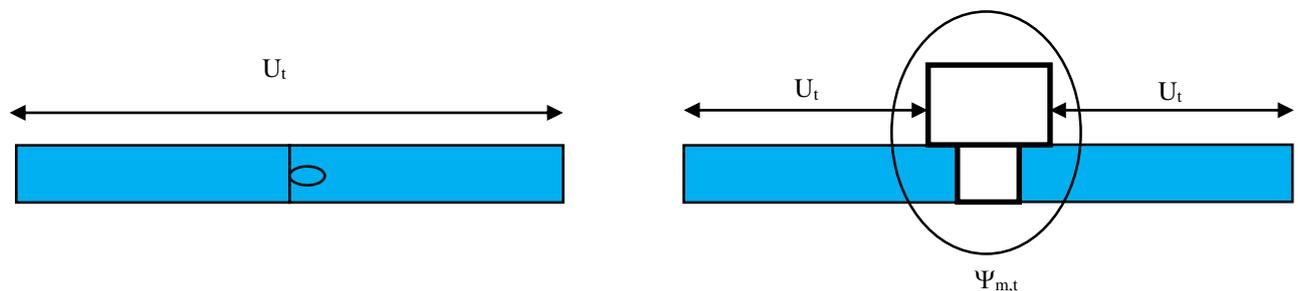


Figure 70 – Jonction de deux panneaux en polycarbonate sans et avec profilés apparents

2.16.1.5 Ponts thermiques de liaison véranda chauffée / structure :

Se reporter aux Ψ des jonctions fenêtres/ouvrage indiqués au du document Méthodes – Ponts thermiques des règles Th-Bât.

Pour les jonctions solins/mur et jonctions verticales/mur, à défaut de valeurs calculées, les valeurs de pont thermique de liaison Ψ du du document Méthodes - Ponts thermiques des règles Th-Bât correspondant aux seuils de porte peuvent être utilisées.

2.16.2 Facteurs de transmission solaire S_w de la véranda

Cette méthode n'est valable que si les protections solaires éventuellement présentes sont associées à des vitrages (et non à des panneaux translucides en polycarbonate).

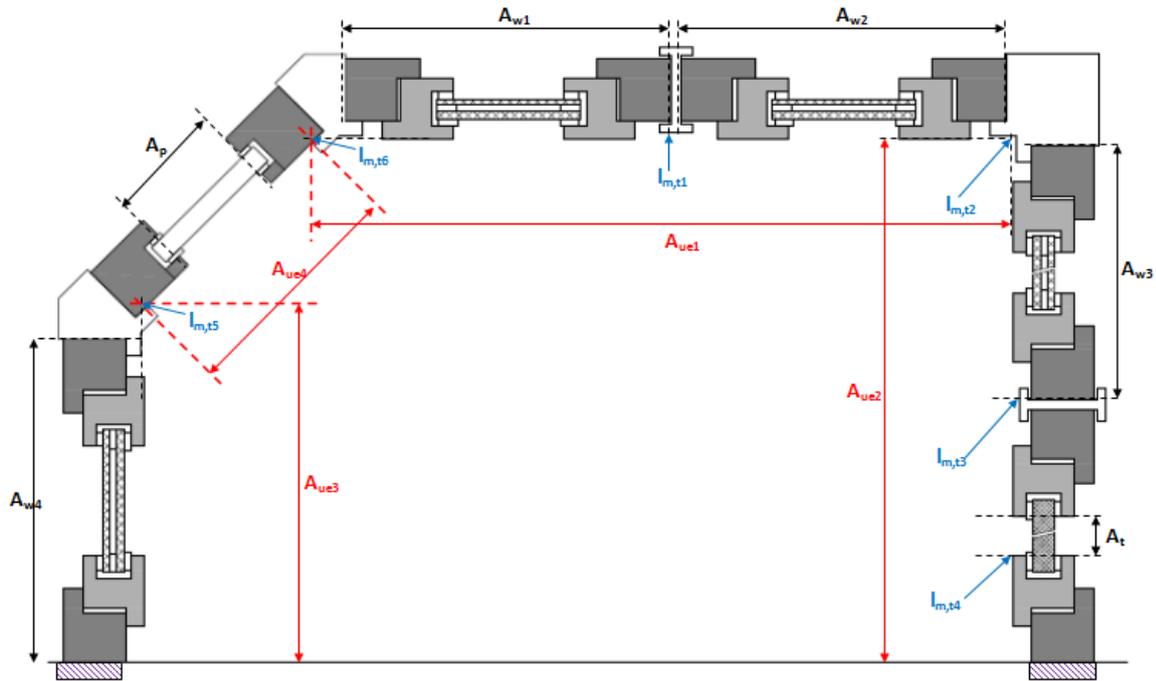


Figure 71 – Découpage de la véranda en coupes

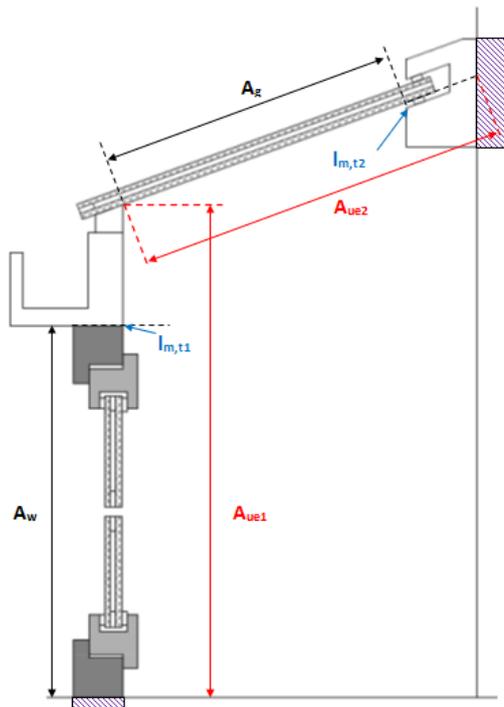


Figure 72 – Découpage entre une paroi verticale et une paroi inclinée

2.16.2.1 Vérandas non chauffées

Pour chaque orientation et inclinaison, les facteurs de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire $S_{we-sp,i}$ et avec protection solaire pleinement déployée $S_{we-ap,i}$ de la paroi s'obtiennent par les formules suivantes :

$$S_{we-sp,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_w + \sum A_g \cdot S_g + \sum A_p \cdot S_p + \sum A_t \cdot S_t + \sum l_{m,t} \cdot \frac{\alpha_{e,m,t} \Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 137}) ;$$

$$S_{we-ap,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{ws} + \sum A_g \cdot S_{gs} + \sum A_p \cdot S_p + \sum A_t \cdot S_t + \sum l_{m,t} \cdot \frac{\alpha_{e,m,t} \Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 138}) ;$$

avec :

- A_w : la plus petite surface intérieure de la fenêtre intégrée à la véranda, vue des deux côtés de la paroi, en m².
- S_w, S_{ws} : facteurs de transmission de l'énergie solaire de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec ou sans protection, déterminés à partir de la norme XP P50-777.
- A_g : la plus petite surface des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi, en m², sans tenir compte des débordements des joints, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda.
- S_g, S_{gs} : facteurs de transmission de l'énergie solaire en partie centrale des vitrages, l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec ou sans protection solaire, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.2.1., 11.2.2. et 11.2.3. de la norme XP P50-777.
- A_p : la plus petite surface des aires visibles des panneaux opaques, vues des deux côtés de la paroi, en m².
- S_p : facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux opaques, en W/(m².K), déterminé par le paragraphe 2.16.2.3.1.
- A_t : la plus petite surface des aires visibles des panneaux translucides en polycarbonate, vues des deux côtés de la paroi, en m².
- S_t : facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux translucides en polycarbonate, en W/(m².K), déterminé par le paragraphe 2.16.2.3.2.
- $l_{m,t}$: linéique du montant ou de la traverse d'ossature, défini par l'intersection des deux plans pour un nœud d'angle et à l'axe du profilé pour un nœud courant, en m.
- $\Psi_{m,t}^*$: coefficient de transmission thermique linéique du montant ou de la traverse d'ossature, en W/(m.K). Si le nœud se situe en angle, $\Psi_{m,t}^* = \Psi_{m,t} / 2$, sinon $\Psi_{m,t}^* = \Psi_{m,t}$. Le coefficient de transmission thermique linéique du montant ou de la traverse d'ossature $\Psi_{m,t}$ est déterminé selon le paragraphe 2.16.1.2.1.
- $A_{ue,i}$: surface intérieure développée de l'élément i, définie par la surface comprise entre les intersections des plans côté intérieur de la véranda, en m².
- $\alpha_{e,m,t}$: coefficient d'absorption énergétique extérieur du montant ou de la traverse.
- h_e : coefficient d'échange superficiel extérieur, en W/(m².K).

A défaut de valeurs disponibles, les valeurs suivantes peuvent être utilisées :

$$\alpha_{e,m,t} = 0.60$$

$$h_e = 25 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

Note 1 : en cohérence avec la norme XP P50-777, l'impact des ponts thermiques dus aux jonctions entre éléments de remplissage et profilés sur les apports solaires est négligé.

Note 2 : un correctif dû à la prise en compte de l'incidence variable sur les fenêtres et vitrages devraient être considéré. Par soucis de simplification et au vu du faible impact de ce correctif (0.95 à 1 dans la majorité des cas), il est négligé.

2.16.2.2 Vérandas chauffées

En cas de véranda chauffée, les parois doivent être saisies comme des baies : la décomposition des facteurs solaires en composantes courte longueur d'onde « 1 » et réémise « 2 » ainsi que la distinction entre condition de référence « C » et d'été « E » sont requises et s'expriment par :

$$S_{w1-sp-c,b,i} = S_{w1-sp-e,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{w1} + \sum A_g \cdot S_{g1} + \sum A_t \cdot S_{t1}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 139}) ;$$

$$S_{w2-sp-c,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{w2}^C + \sum A_g \cdot S_{g2}^C + \sum A_p \cdot S_p + \sum A_t \cdot S_{t2} + \sum l_{m,t} \cdot \frac{\alpha_{e,m,t} \Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 140}) ;$$

$$S_{w2-sp-e,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{w2}^E + \sum A_g \cdot S_{g2}^E + \sum A_p \cdot S_p + \sum A_t \cdot S_{t2} + \sum l_{m,t} \cdot \frac{\alpha_{e,m,t} \Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 141}) ;$$

$$S_{w1-ap-c,b,i} = S_{w1-ap-e,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{ws1} + \sum A_g \cdot S_{gs1}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 142}) ;$$

$$S_{w2-ap-c,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{ws2}^C + \sum A_g \cdot S_{gs2}^C + \sum A_p \cdot S_p + \sum A_t \cdot S_t + \sum l_{m,t} \cdot \frac{\alpha_{e,m,t} \Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 143}) ;$$

$$S_{w2-ap-e,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{ws2}^E + \sum A_g \cdot S_{gs2}^E + \sum A_p \cdot S_p + \sum A_t \cdot S_t + \sum l_{m,t} \cdot \frac{\alpha_{e,m,t} \Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 144}) ;$$

$$S_{w3-ap-c,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{ws3}^C + \sum A_g \cdot S_{gs3}^C}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 145}) ;$$

$$S_{w3-ap-e,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{ws3}^E + \sum A_g \cdot S_{gs3}^E}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 146}) ;$$

avec :

- S_{w1} , S_{ws1} : composante courte longueur d'onde des facteurs de transmission de l'énergie solaire de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec ou sans protection, déterminés à partir de la norme XP P50-777.
- S_{w2}^C , S_{ws2}^C , S_{w2}^E , S_{ws2}^E : composante réémise des facteurs de transmission de l'énergie solaire de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec ou sans protection et en condition de référence ou d'été, déterminées à partir de la norme XP P50-777.
- S_{ws3}^C , S_{ws3}^E : composante de ventilation de la lame d'air intérieur de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec protection intérieure et en condition de référence ou d'été, déterminées à partir de la norme XP P50-777.
- S_{g1} , S_{gs1} : composante courte longueur d'onde des facteurs de transmission de l'énergie solaire en partie centrale des vitrages, l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec ou sans protection solaire, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.2.1., 11.2.2. et 11.2.3. de la norme XP P50-777.

- $S_{g2}^C, S_{gs2}^C, S_{g2}^E, S_{gs2}^E$: composante réémission des facteurs de transmission de l'énergie solaire en partie centrale des vitrages, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec ou sans protection solaire et en condition de référence ou d'été, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.2.1., 11.2.2. et 11.2.3. de la norme XP P50-777.
- S_{gs3}^C, S_{gs3}^E : composante de ventilation de la lame d'air intérieur en partie centrale des vitrages, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec protection solaire intérieure et en condition de référence ou d'été, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.2.1., 11.2.2. et 11.2.3. de la norme XP P50-777.
- S_{t1} : composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux translucides en polycarbonate, en $W/(m^2.K)$, déterminé par le paragraphe 2.16.2.3.2.
- S_{t2} : composante réémission du facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux translucides en polycarbonate, en $W/(m^2.K)$, déterminé par le paragraphe 2.16.2.3.2.

2.16.2.3 Facteur de transmission de l'énergie solaire des éléments de remplissage non vitrés

Les éléments de remplissages peuvent être constitués de panneaux opaques (S_p) ou de panneaux translucides en polycarbonate (S_t). La décomposition en composantes courte longueur d'onde, grande longueur d'onde + convective et ventilation n'est pas requise.

2.16.2.3.1 Remplissage de type panneau opaque

Le coefficient de transmission de l'énergie solaire du panneau opaque S_p se calcule à partir de la formule suivante :

$$S_p = \alpha_{ep} \frac{U_p}{h_e} \quad (\text{Formule 147}) ;$$

Avec :

U_p : Coefficient de transmission thermique du panneau opaque, en $W/(m^2.K)$ déterminé dans le document méthodes - Parois opaques des Règles Th-Bât en tenant compte des ponts thermiques intégrés au panneau.

α_{ep} : Coefficient d'absorption énergétique moyen de la face extérieure du panneau opaque.

h_e : Coefficient d'échange thermique superficiel extérieur, en $W/(m^2.K)$.

A défaut de valeurs disponibles, les valeurs suivantes peuvent être utilisées :

$$\alpha_{ep} = 0.60$$

$$h_e = 25 \text{ W}/(m^2.K)$$

2.16.2.3.2 Remplissage de type panneau polycarbonate

Le facteur de transmission de l'énergie solaire du panneau translucide polycarbonate S_t se calcule en additionnant les composantes 1 et 2 déterminées à partir du paragraphe 2.8.2.

Dans le cas d'un panneau en polycarbonate sans profilé apparent, le facteur de transmission de l'énergie solaire déterminé au centre du panneau est supposé s'appliquer sur tout le panneau. Si les panneaux sont joints par des profilés apparents (même translucides), ces profilés sont calculés sous forme de $\Psi_{m,t}$.

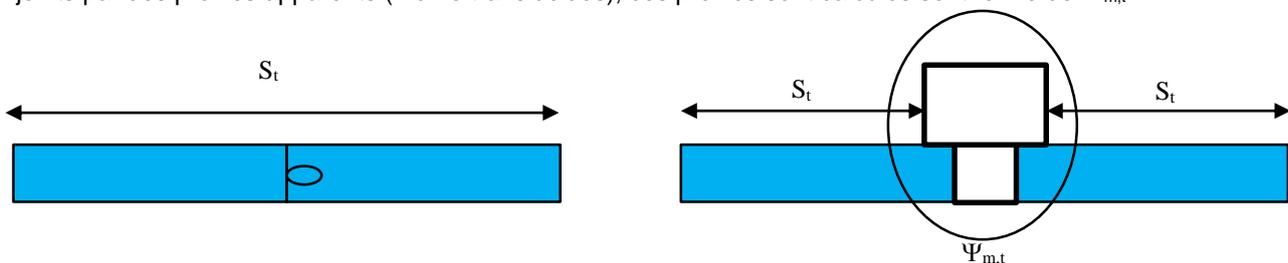


Figure 73 – Jonction de deux panneaux en polycarbonate sans et avec profilés apparents

Note 1 : le correctif appliqué pour tenir compte de l'incidence variable sur les plaques de PCA est supposés identique pour les plaques verticales et horizontales.

Note 2 : en cas de véranda chauffée, le facteur solaire de l'élément polycarbonate se décompose en composante courte longueur d'onde « 1 » et réémission « 2 » conformément au paragraphe 2.8.2.

2.16.2.4 Intégration dans l'ouvrage, prise en compte des masques

L'intégration dans l'ouvrage se fait directement dans la méthode de destination en renseignant tout masque proche, qu'il soit lié au bâtiment support de la véranda (par exemple débord de toit, mur de refend adjacent...) ou aux éléments de la véranda elle-même (par exemple de débord extérieur lié à la sablière). Toutefois, dans ce dernier cas, si le débord extérieur du masque est inférieur au dixième de la hauteur de la paroi verticale, son effet peut être négligé.

2.16.3 Facteurs de transmission lumineuse $TL_{e-sp,i}$ et $TL_{e-ap,i}$ de la véranda

Cette méthode n'est valable que si les protections solaires éventuellement présentes sont associées à des vitrages (et non à des panneaux translucides en polycarbonate).

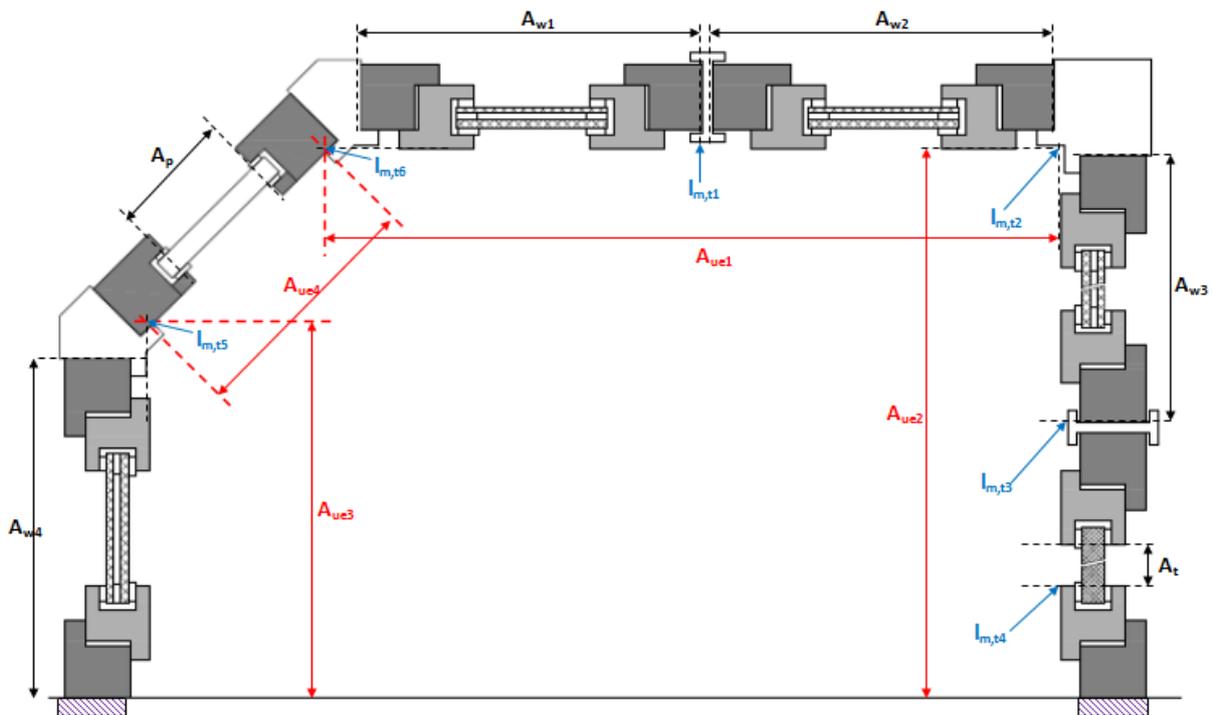


Figure 74 – Découpage de la véranda en coupes

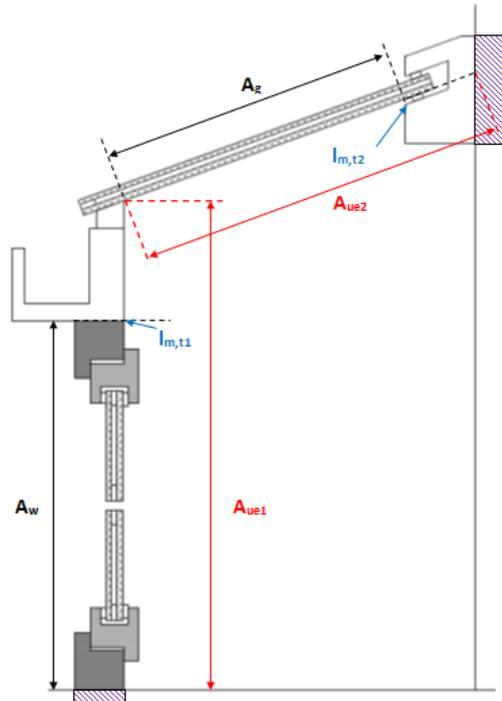


Figure 75 – Découpage entre une paroi verticale et une paroi inclinée

Pour chaque orientation et inclinaison, les facteurs de transmission lumineuse sans protection solaire $TL_{e-sp,i}$ et avec protection solaire pleinement déployée $TL_{e-ap,i}$ de la paroi s'obtiennent par les formules suivantes :

$$TL_{e-sp,i} = \frac{\sum A_w \cdot TL_w + \sum A_g \cdot TL_g + \sum A_t \cdot TL_t}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 148}) ;$$

$$TL_{e-ap,i} = \frac{\sum A_w \cdot TL_{ws} + \sum A_g \cdot TL_{gs} + \sum A_t \cdot TL_t}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 149}) ;$$

avec :

- A_w : la plus petite surface intérieure de la fenêtre intégrée à la véranda, vue des deux côtés de la paroi, en m^2 .
- TL_w, TL_{ws} : facteurs de transmission lumineuse de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec ou sans protection, déterminés à partir de la norme XP P50-777.
- A_g : la plus petite surface des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi, en m^2 , sans tenir compte des débordements des joints, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda.
- TL_g, TL_{gs} : facteurs de transmission lumineuse en partie centrale des vitrages, l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec ou sans protection solaire, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.3.1. et 11.3.2. de la norme XP P50-777.
- A_t : la plus petite surface des aires visibles des panneaux translucides en polycarbonate, vues des deux côtés de la paroi, en m^2 .
- TL_t : facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux translucides en polycarbonate, en $W/(m^2.K)$, déterminé par le paragraphe 2.16.3.1.1.

Note 1 : un correctif dû à la prise en compte de l'incidence variable sur les fenêtres et vitrages devraient être considéré. Par soucis de simplification et au vu du faible impact de ce correctif (0.95 à 1 dans la majorité des cas), il est négligé.

Note 2 : en cas de véranda chauffée, les parois doivent être saisies comme des baies : la part diffusée en cas de protection solaire déployée est requise et s'exprime par :

$$Tlid_{ap,b,i} = \frac{\sum A_w.TL_{ws,dif} + \sum A_g.TL_{gs,dif}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 150}) ;$$

avec :

- $TL_{ws,dif}$: part diffusée par la protection solaire du facteur de transmission lumineuse de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, déterminée à partir de la norme XP P50-777.
- $TL_{gs,dif}$: part diffusée du facteur de transmission lumineuse en partie centrale des vitrages, l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.3.1. et 11.3.2. de la norme XP P50-777.

2.16.3.1 Facteur de transmission lumineuse des éléments de remplissage non vitrés

Les éléments de remplissages peuvent être constitués de panneaux opaques ($TL_p = 0$) ou de panneaux translucides en polycarbonate (TL_t). La part diffusée par le polycarbonate est négligée ($TL_{t,dif} = 0$) ce qui correspond à des produits transparents.

2.16.3.1.1 Remplissage de type panneau polycarbonate

Le facteur de transmission lumineuse du panneau translucide polycarbonate TL_t se calcule à partir de la formule suivante :

$$TL_t = 0.85 \times \tau_{v,n-h} \quad (\text{Formule 151}) ;$$

$\tau_{v,n-h}$: Taux de transmission lumineuse normal-hémisphérique du polycarbonate à incidence normale, déterminés à partir du projet de norme PR NF EN 16153.

Dans le cas d'un panneau en polycarbonate sans profilé apparent, le facteur de transmission lumineuse déterminé au centre du panneau est supposé s'appliquer sur tout le panneau. Si les panneaux sont joints par des profilés apparents (même translucides), ces profilés sont supposés opaques et comptés comme un $b_{m,t}$.

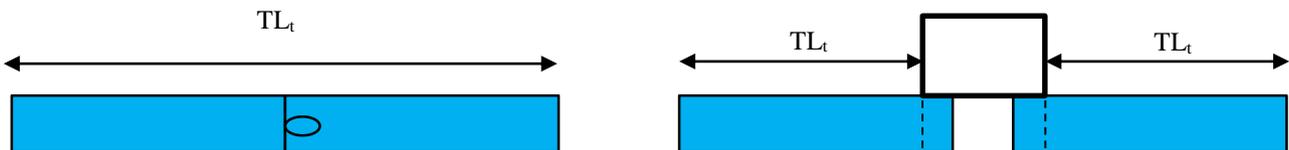


Figure 76 – Jonction de deux panneaux en polycarbonate sans et avec profilés apparents

NB : le correctif appliqué pour tenir compte de l'incidence variable sur les plaques de PCA est supposés identique pour les plaques verticales et horizontales.

2.16.3.2 Intégration dans l'ouvrage, prise en compte des masques

L'intégration dans l'ouvrage se fait directement dans la méthode de destination en renseignant tout masque proche, qu'il soit lié au bâtiment support de la véranda (par exemple débord de toit, mur de refend adjacent...) ou aux éléments de la véranda elle-même (par exemple de débord extérieur lié à la sablière). Toutefois, dans ce dernier cas, si le débord extérieur du masque est inférieur au dixième de la hauteur de la paroi verticale, son effet peut être négligé.

2.17 Présentation des résultats

2.17.1 Règles d'arrondis des valeurs

Tableau XVI : Synthèse des règles d'arrondi

Grandeurs		Règle d'arrondi	Unité
Flux thermique total	Obtenu par calcul numérique	4 chiffres après la virgule	W/K (en 2D) ou W (en 3D)
Résistance thermique	superficielles R_{si} , R_{se}	2 décimales	m^2K/W
	matériau R_i		
	lame d'air R_s		
	additionnelle ΔR		
Conductivité thermique λ	---	$\lambda \leq 0,08$: arrondie à 0,001 W/(m·K) près, par excès $0,08 < \lambda \leq 0,20$: arrondie à 0,005 W/(m·K) près, par excès $0,20 < \lambda \leq 2,00$: arrondie à 0,01 W/(m·K) près, par excès $2,0 < \lambda$: arrondie à 0,1 W/(m·K) près, par excès	W/m.K
Coefficient linéique Ψ	---	2 chiffres significatifs	W/m.K
Coefficient de transmission surfacique	U_w , U_d , U_{cw} , U_{CL} , U_v , U_p , U_f , U_c , ΔU , U_{ws} , U_{jn} , $U_{bb,jn}$	2 chiffres significatifs	W/m ² K
	U_g vitrage	1 chiffre après la virgule	W/m ² K
	U_e , U_{p1} , U_{c1} (coffre)	3 chiffres significatifs	W/m ² K
Dimension	Epaisseur de couche de matériau	2 chiffres significatifs	m
	Longueur ou largeur b	3 chiffres significatifs	
	Périmètre l	4 chiffres après la virgule	
	critère de perméabilité P_e	2 chiffres après la virgule	mm
	e_{tot}	1 chiffre	
Surface A	---	4 chiffres après la virgule	m ²
Rapport p entre surface des vides et surface totale du tablier	---	1 chiffre	%

2.17.2 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

3 Intégration de la paroi vitrée dans l'ouvrage

3.1 Méthode générale de prise en compte du coefficient U_w de la paroi vitrée

L'intégration dans l'ouvrage des parois vitrées se caractérise par la détermination de ponts thermiques de liaisons conformément au document Méthodes - Ponts Thermiques.

Dans la méthode de calcul de certains procédés particuliers de parois vitrées, des ponts thermiques supplémentaires sont à prendre en compte (exemple : fenêtre à galandage).

3.2 Méthode générale de prise en compte du coefficient S_w de la paroi vitrée

Dans le cadre des facteurs de transmission solaire, les normes listées au §. 1.4 s'articulent de la manière suivante :

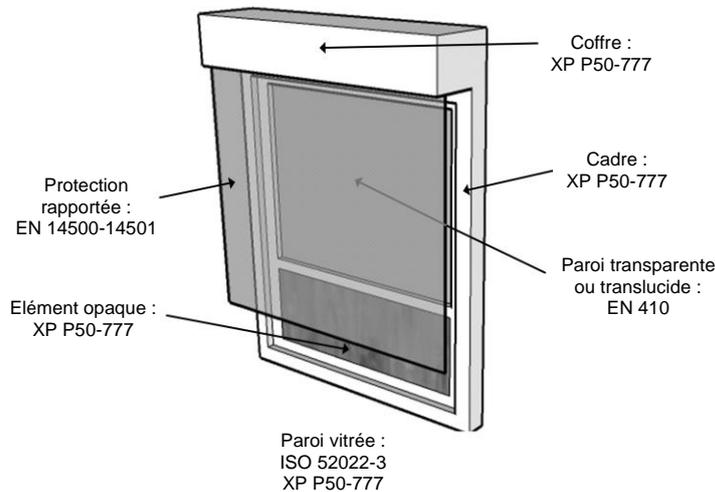


Figure 77 : Caractérisation de l'assemblage de composants de la paroi vitrée

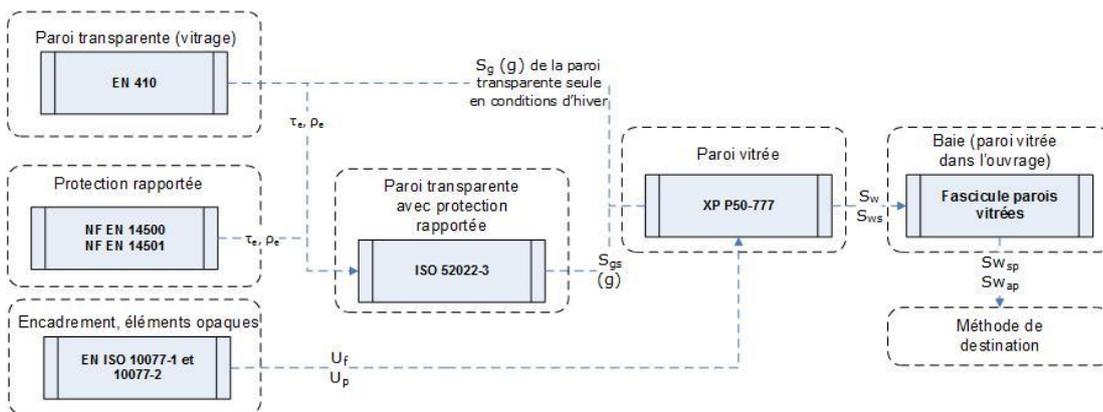


Figure 78 : Communications entre les textes normatifs pour la définition des facteurs de transmission solaires des baies

3.2.1 Généralités

Les corrections appliquées sont les suivantes :

- Correctif pour l'impact de l'intégration à l'ouvrage $F^{fs}_{bât}$: les masques proches et le contour de la baie ont pour effet de réduire le rayonnement incident dans le plan du vitrage.

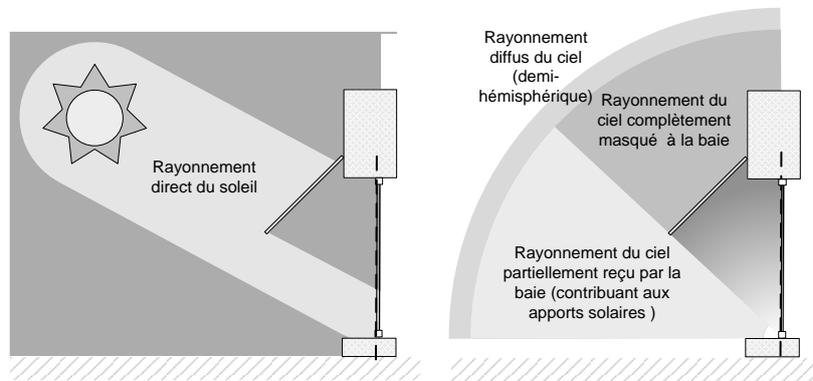


Figure 79 : Réduction d'éclairement associé à un masque proche à projection et à l'ouvrage pour les rayonnements du soleil et du ciel

- Correctif pour l'impact de l'incidence variable du rayonnement direct provenant du soleil et diffus provenant du ciel et du sol sur le vitrage: F^{fs}_{iv}

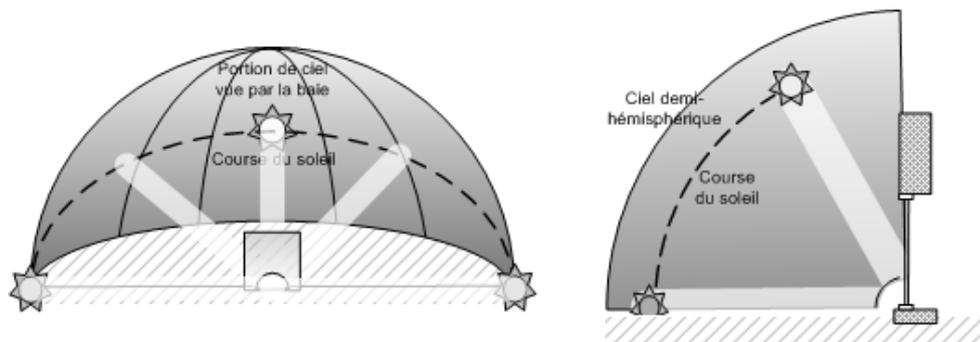


Figure 80 : Variations de l'angle d'incidence et l'angle de profil (hauteur du soleil corrigée) sur le vitrage pour une baie verticale orientée sud

Un rayonnement atteignant une surface vitrée avec une incidence rasante est moins transmis vers l'intérieur que s'il arrivait à incidence normale. Les masques dus à l'intégration de la paroi vitrée dans l'ouvrage ont un effet sélectif sur le rayonnement atteignant le vitrage. De fait, les rayonnements avec des angles d'incidence les plus éloignés de la normale sont déjà arrêtés par les masques générés par l'ouvrage. Dans ce cas, le correctif dû à l'angle d'incidence s'appliquera uniquement aux rayonnements atteignant le vitrage avec un angle proche de la normale donc peu sensible à ce paramètre. Il en ressort que, plus le masque est sélectif, plus le correctif sur l'angle d'incidence est proche de 1.

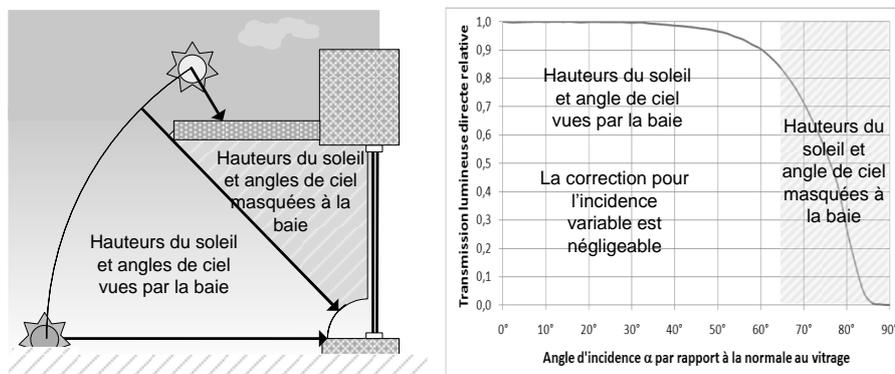


Figure 81 : Exemple d'effet sélectif pour les masques liés à l'ouvrage sur les plages de variations de l'incidence du rayonnement du soleil sur le vitrage

3.2.2 Formules générales

3.2.2.1 Paroi transparente ou translucide sans protection rapportée en place

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Tableau XVII : Sorties des facteurs de transmission solaire pour les cas courants de baies sans protection rapportée

Incidence	Composante intérieure	Résultat de l'application de la méthode	
		C	E
Toutes incidences	Global	$Sw_{sp-c,b}$	$Sw_{sp-e,b}$
	1 : CLO	$Sw1_{sp-c,b}$	$Sw1_{sp-e,b}$
	2 : GLO et convective	$Sw2_{sp-c,b}$	$Sw2_{sp-e,b}$
	3 : lame d'air intérieure ventilée	$Sw3_{sp-c,b}$	$Sw3_{sp-e,b}$

Note : dans ce cas de figure, les facteurs pour les rayonnements directs provenant du soleil, diffus et réfléchi par le sol sont égaux.

A partir des données issues des normes, les résultats sont calculés de la manière suivante :

- En conditions de calcul des consommations (C):

$$\begin{bmatrix} Sw1_{sp-c,b} \\ Sw2_{sp-c,b} \\ Sw3_{sp-c,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,C} \cdot F_{bati_dir}^{fs,C} \cdot F_{iv_dir}^{fs,C} + (1 - R_{dir}^{fs,C}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \cdot F_{iv_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{w1}^C \\ S_{w2}^C \\ S_{w3}^C \end{bmatrix} \quad (\text{Formule 152}) ;$$

$$Sw_{sp-c,b} = Sw1_{sp-c,b} + Sw2_{sp-c,b} + Sw3_{sp-c,b} \quad (\text{Formule 153}) ;$$

- En conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E) :

$$\begin{bmatrix} Sw1_{sp-e,b} \\ Sw2_{sp-e,b} \\ Sw3_{sp-e,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,E} \cdot F_{bati_dir}^{fs,E} \cdot F_{iv_dir}^{fs,E} + (1 - R_{dir}^{fs,E}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \cdot F_{iv_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{w1}^E \\ S_{w2}^E \\ S_{w3}^E \end{bmatrix} \quad (\text{Formule 154}) ;$$

$$Sw_{sp-e,b} = Sw1_{sp-e,b} + Sw2_{sp-e,b} + Sw3_{sp-e,b} \quad (\text{Formule 155}) ;$$

Où :

- $F_{bati_dir}^{fs,C}$, $F_{bati_dir}^{fs,E}$ et $F_{bati_dif}^{fs}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage pour les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au § 3.2.3.2 ;
- $F_{iv_dir}^{fs,C}$, $F_{iv_dir}^{fs,E}$ et $F_{iv_dif}^{fs}$ sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus sur les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au § 3.2.3.3 ;
- $R_{dir}^{fs,C}$ et $R_{dir}^{fs,E}$ sont les parts de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global sur la baie dans les conditions C et les conditions E, déterminé par interpolation entre les valeurs du Tableau XX (§ 3.2.3.1).

3.2.2.2 Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées en place

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Tableau XVIII : Sorties des facteurs de transmission solaire pour les cas courants de baies avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées

Incidence	Composante intérieure	Résultat de l'application de la méthode	
		C	E
Toutes incidences	Global	$SW_{ap-c,b}$	$SW_{ap-e,b}$
	1 : CLO	$SW1_{ap-c,b}$	$SW1_{ap-e,b}$
	2 : GLO et convective	$SW2_{ap-c,b}$	$SW2_{ap-e,b}$
	3 : lame d'air intérieure ventilée	$SW3_{ap-c,b}$	$SW3_{ap-e,b}$

Note : dans ce cas de figure également, les facteurs pour les rayonnements direct provenant du soleil, diffus et réfléchi par le sol sont égaux.

A partir des données issues des normes, les résultats sont calculés de la manière suivante :

- En conditions de calcul des consommations (C):

$$\begin{bmatrix} SW1_{ap-c,b} \\ SW2_{ap-c,b} \\ SW3_{ap-c,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,C} \cdot F_{bati_dir}^{fs,C} \cdot F_{iv_dir}^{fs,C} + (1 - R_{dir}^{fs,C}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \cdot F_{iv_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{ws1}^C \\ S_{ws2}^C \\ S_{ws3}^C \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 156) ;}$$

$$SW_{ap-c,b} = SW1_{ap-c,b} + SW2_{ap-c,b} + SW3_{ap-c,b} \quad \text{(Formule 157) ;}$$

- En conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E) :

$$\begin{bmatrix} SW1_{ap-e,b} \\ SW2_{ap-e,b} \\ SW3_{ap-e,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,E} \cdot F_{bati_dir}^{fs,E} \cdot F_{iv_dir}^{fs,E} + (1 - R_{dir}^{fs,E}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \cdot F_{iv_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{ws1}^E \\ S_{ws2}^E \\ S_{ws3}^E \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 158) ;}$$

$$SW_{ap-e,b} = SW1_{ap-e,b} + SW2_{ap-e,b} + SW3_{ap-e,b} \quad \text{(Formule 159) ;}$$

Où :

- $F_{bati_dir}^{fs,C}$, $F_{bati_dir}^{fs,E}$ et $F_{bati_dif}^{fs}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage pour les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au § 3.2.3.2 ;

- $F_{iv_dir}^{fs,C}$, $F_{iv_dir}^{fs,E}$ et $F_{iv_dif}^{fs}$ sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus sur les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au §3.2.3.3 ;
- $R_{dir}^{fs,C}$ et $R_{dir}^{fs,E}$ sont les parts de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global sur la baie dans les conditions C et les conditions E, déterminé par interpolation entre les valeurs du Tableau XX (§3.2.3.1).

3.2.2.3 Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée à lames inclinées en place

Pour une protection à lames, on opère une distinction selon l'incidence du rayonnement.

Les données de sortie se résument donc au tableau ci-dessous :

Tableau XIX : Sorties des facteurs de transmission solaire pour les cas courants avec protection rapportée à lames inclinées en place

Incidence	Composante intérieure	Résultat de l'application de la méthode	
		C	E
Directe quelconque	Global	$SW_{ap,dir-c,b}(\eta,\alpha)$	$SW_{ap,dir-e,b}(\eta,\alpha)$
	1 : CLO	$SW1_{ap,dir-c,b}(\eta,\alpha)$	$SW1_{ap,dir-e,b}(\eta,\alpha)$
	2 : GLO et convective	$SW2_{ap,dir-c,b}(\eta,\alpha)$	$SW2_{ap,dir-e,b}(\eta,\alpha)$
	3 : lame d'air ventilée	$SW3_{ap,dir-c,b}(\eta,\alpha)$	$SW3_{ap,dir-e,b}(\eta,\alpha)$
Diffuse	Global	$SW_{ap,dif-c,b}(\alpha)$	$SW_{ap,dif-e,b}(\alpha)$
	1 : CLO	$SW1_{ap,dif-c,b}(\alpha)$	$SW1_{ap,dif-e,b}(\alpha)$
	2 : GLO et convective	$SW2_{ap,dif-c,b}(\alpha)$	$SW2_{ap,dif-e,b}(\alpha)$
	3 : lame d'air ventilée	$SW3_{ap,dif-c,b}(\alpha)$	$SW3_{ap,dif-e,b}(\alpha)$
Réfléchie	Global	$SW_{ap,ref-c,b}(\alpha)$	$SW_{ap,ref-e,b}(\alpha)$
	1 : CLO	$SW1_{ap,ref-c,b}(\alpha)$	$SW1_{ap,ref-e,b}(\alpha)$
	2 : GLO et convective	$SW2_{ap,ref-c,b}(\alpha)$	$SW2_{ap,ref-e,b}(\alpha)$
	3 : lame d'air ventilée	$SW3_{ap,ref-c,b}(\alpha)$	$SW3_{ap,ref-e,b}(\alpha)$

Note : les valeurs sont déterminées pour η variant de 0° à 75° par pas de 15° (soit 6 valeurs), et α variant de 0° à 90° par pas de 15° (soit 7 valeurs).

Pour la baie avec protection rapportée en place, les résultats sont calculés de la manière suivante à partir des données issues des normes :

- En conditions de calcul des consommations (C):

$$Sw1_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws1,dir}^C(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 160) ;}$$

$$Sw1_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws1,dif}^C(\alpha) \quad \text{(Formule 161) ;}$$

$$Sw1_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws1,ref}^C(\alpha) \quad \text{(Formule 162) ;}$$

$$Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws2}^C(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 163) ;}$$

$$Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws3}^C(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 163) ;}$$

$$Sw2_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws2}^C(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 164) ;}$$

$$Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws3}^C(\eta, \alpha)$$

$$Sw2_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws2}^C(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 165) ;}$$

$$Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws3}^C(\eta, \alpha)$$

$$Sw_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = Sw1_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) + Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) + Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha)$$

$$Sw_{ap,dif-c,b}(\alpha) = Sw1_{ap,dif-c,b}(\alpha) + Sw2_{ap,dif-c,b}(\alpha) + Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha) \quad \text{(Formule 166) ;}$$

$$Sw_{ap,ref-c,b}(\alpha) = Sw1_{ap,ref-c,b}(\alpha) + Sw2_{ap,ref-c,b}(\alpha) + Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha)$$

- En conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E) :

$$Sw1_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws1,dir}^E(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 167) ;}$$

$$Sw1_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws1,dif}^E(\alpha) \quad \text{(Formule 168) ;}$$

$$Sw1_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws1,ref}^E(\alpha) \quad \text{(Formule 169) ;}$$

$$Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws2}^E(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 170) ;}$$

$$Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws3}^E(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 170) ;}$$

$$Sw2_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws2}^E(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 171) ;}$$

$$Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws3}^E(\eta, \alpha)$$

$$Sw2_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws2}^E(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 172) ;}$$

$$Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws3}^E(\eta, \alpha)$$

$$\begin{aligned}
Sw_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) &= Sw1_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) + Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) + Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) \\
Sw_{ap,dif-e,b}(\alpha) &= Sw1_{ap,dif-e,b}(\alpha) + Sw2_{ap,dif-e,b}(\alpha) + Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha) \\
Sw_{ap,ref-e,b}(\alpha) &= Sw1_{ap,ref-e,b}(\alpha) + Sw2_{ap,ref-e,b}(\alpha) + Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha)
\end{aligned}
\tag{Formule 173 ;}$$

Où :

- $F_{bati_dir}^{fs,C}$, $F_{bati_dir}^{fs,E}$, et $F_{bati_dif}^{fs}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage pour les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au §3.2.3.2 ;
- $F_{iv_dir}^{fs,C}$, $F_{iv_dir}^{fs,E}$ et $F_{iv_dif}^{fs}$ sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus sur les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au §3.2.3.3.

Note : pour le cas particulier de protections mobiles rapportées à lames inclinées gérées en fonction « *suivi solaire* » (ou suntracking), les facteurs de transmission solaire $S_{ws2}^C(\eta, \alpha)$, $S_{ws2}^E(\eta, \alpha)$, $S_{ws3}^C(\eta, \alpha)$ et $S_{ws3}^E(\eta, \alpha)$ ne sont plus déterminés qu'une fois pour chaque valeur d'inclinaison des lames α (soit 6 valeurs). En effet, chaque inclinaison des lames correspond alors à un unique angle de profil donné η_α .

En conditions C, pour une gestion en suivi solaire (suntracking), les relations (Formule 163) ; (Formule 164) ; et (Formule 165) ; deviennent donc :

$$\begin{aligned}
Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) &= F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws2}^C(\eta, \alpha) \\
Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) &= F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws3}^C(\eta, \alpha)
\end{aligned}
\tag{Formule 174} ;$$

$$\begin{aligned}
Sw2_{ap,dif-c,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws2}^C(\eta_\alpha, \alpha) \\
Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws3}^C(\eta_\alpha, \alpha)
\end{aligned}
\tag{Formule 175} ;$$

$$\begin{aligned}
Sw2_{ap,ref-c,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws2}^C(\eta_\alpha, \alpha) \\
Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws3}^C(\eta_\alpha, \alpha)
\end{aligned}
\tag{Formule 176} ;$$

En conditions E, pour une gestion en suivi solaire (suntracking), les relations (Formule 170) ; (Formule 171) ; et (Formule 172) ; deviennent donc :

$$\begin{aligned}
Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) &= F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws2}^E(\eta, \alpha) \\
Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) &= F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws3}^E(\eta, \alpha)
\end{aligned}
\tag{Formule 177} ;$$

$$\begin{aligned}
Sw2_{ap,dif-e,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws2}^E(\eta_\alpha, \alpha) \\
Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws3}^E(\eta_\alpha, \alpha)
\end{aligned}
\tag{Formule 178} ;$$

$$\begin{aligned}
Sw2_{ap,ref-e,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws2}^E(\eta_\alpha, \alpha) \\
Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws3}^E(\eta_\alpha, \alpha)
\end{aligned}
\tag{Formule 179} ;$$

3.2.3 Coefficients de correction

Le présent chapitre décrit les méthodes de calcul des coefficients de correction des facteurs de transmission solaire pour l'intégration à l'ouvrage et pour la variation de l'angle d'incidence du rayonnement.

La méthode distingue les coefficients pour le rayonnement direct provenant du soleil et diffus provenant du ciel et réfléchi par le sol. Ainsi, la première partie du chapitre est consacrée aux poids des rayonnements directs du soleil et diffus du ciel sur une année et une période d'été, permettant d'appliquer ces deux coefficients dans les formules générales.

Dans l'ensemble des tableaux du présent sous-chapitre, les interpolations linéaires entre plusieurs valeurs sont possibles, lorsque les entrées des tableaux sont des valeurs numériques (y compris pour les orientations et inclinaisons). Les extrapolations au-delà des bornes des entrées des tableaux ne sont pas permises : on retient alors la valeur du tableau correspondant à la borne considérée.

Les tableaux présentent les coefficients en distinguant les conditions de calcul associées : calcul de consommation « C », éventuellement propre à des locaux non climatisés « C ch » ou climatisés « C clim », et calcul de confort d'été et de dimensionnement des systèmes de refroidissement « E ».

Note : par souci de simplification, les coefficients de correction pour les rayonnements diffus en provenance du ciel et réfléchi par le sol ne seront pas distingués et seront regroupés dans un coefficient diffus moyen.

3.2.3.1 Distinction entre rayonnement direct du soleil et diffus

On introduit ci-dessous les pourcentages de rayonnement direct du soleil $R^{fs,C}_{dir}$ et $R^{fs,E}_{dir}$, selon plusieurs orientations et inclinaisons de la baie. Pour une baie d'inclinaison et orientation intermédiaires entre deux valeurs, les ratios $R^{fs,C}_{dir}$ et $R^{fs,E}_{dir}$ seront déterminés par interpolation linéaire.

Tableau XX : Part du rayonnement direct du soleil dans le rayonnement total atteignant une surface selon son inclinaison et son orientation

Inclinaison de la paroi	Orientation de la paroi	$R^{fs,C}_{dir}$	$R^{fs,E}_{dir}$
Vertical ($\beta = 90^\circ$)	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,55	0,40
	Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,45	0,45
	Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,05	0,05
Inclinée ($\beta = 45^\circ$)	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,60	0,60
	Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,50	0,55
	Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,30	0,45
Horizontal ($\beta = 0^\circ$)		0,55	0,60

3.2.3.2 Prise en compte de l'intégration à l'ouvrage

L'intégration à l'ouvrage impacte sur le facteur solaire par la création de masques proches de conception (débords horizontaux et verticaux, protections fixes, brise-soleils) ou intrinsèques (contour de la baie).

Afin de caractériser les dimensions de la baie, on introduit un coefficient de forme K_s , défini de la manière suivante :

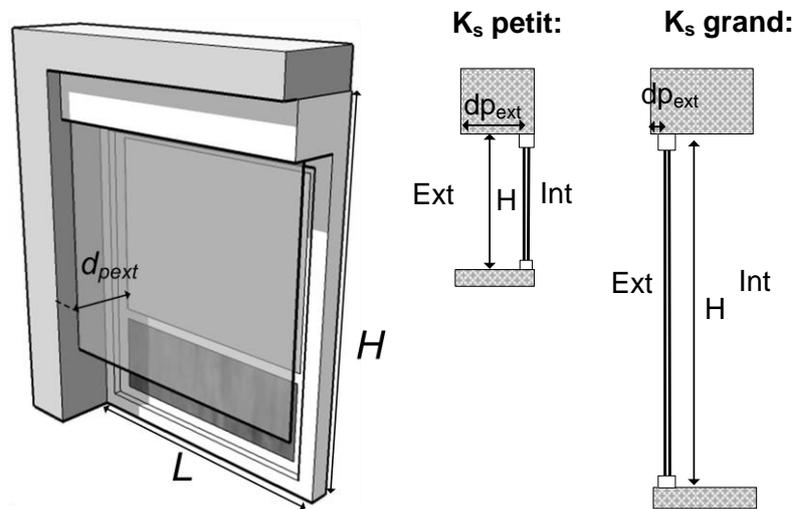


Figure 82 : Coefficient caractéristique de la baie K_s

$$K_s = \frac{L \cdot H}{d_{p_{ext}} \cdot (L + H)}$$

(Formule 180) ;

Où :

- $d_{p_{ext}}$ est la distance entre le plan extérieur de la paroi transparente (vitrage) et le plan extérieur de la paroi opaque, isolation comprise, en mètres,
- L et H les dimensions de la baie, en mètres.

Ce coefficient est fortement dépendant de la position de la paroi vitrée dans la baie ; ainsi, pour un vitrage au nu extérieur le coefficient K_s tend vers de grandes valeurs, alors qu'il est petit pour un vitrage au nu intérieur.

Baie d'inclinaison inférieure à 60° (de horizontale à inclinée)

Les baies dont l'inclinaison β est strictement inférieure à 60° ne font pas l'objet de correctifs pour l'intégration à l'ouvrage. Les parois vitrées inclinées sont en effet systématiquement placées au nu extérieur. L'effet des éventuels masques proches est considéré négligeable.

$$F_{bati_dir}^{fs,C} = F_{bati_dir}^{fs,E} = F_{bati_dif}^{fs} = 1$$

Baies d’inclinaison supérieure ou égale à 60° avec débords latéraux et/ou surplombs (hors tableau de la baie)

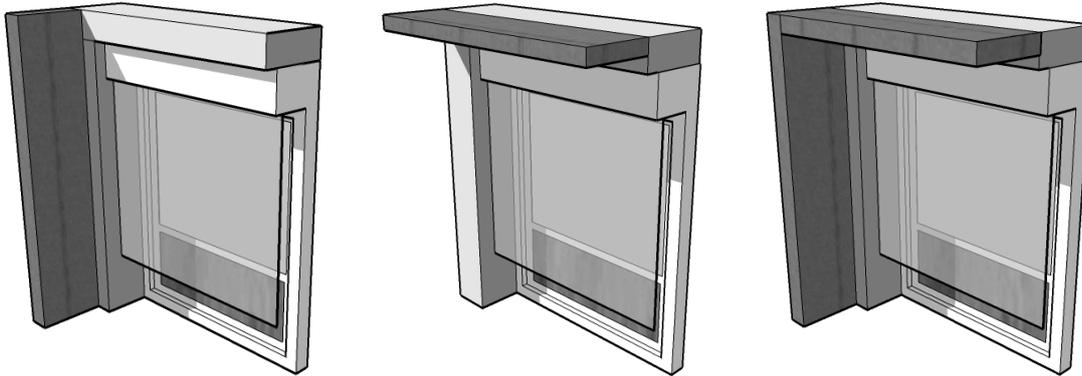


Figure 83: masques proches de type débords latéraux et surplombs

La valorisation des masques proches de type débords latéraux et surplombs des baies verticales relève directement de la méthode de calcul de destination. Cette prise en compte passe par des masques proches verticaux et horizontaux équivalents, englobant l’impact du tableau des baies.

Dans le cadre du facteur de transmission solaire, ce cas de figure se traduit par :

$$F^{fs,C}_{bati_dir} = F^{fs,E}_{bati_dir} = F^{fs}_{bati_dif} = 1$$

Baies d’inclinaison supérieure ou égale à 60° sans masques proches de conception (tableau de la baie seul)

L’intégration de la paroi vitrée dans la baie peut être source de réduction du facteur solaire, par effet de masque du contour de la baie. Cet impact dépend de la position de la paroi vitrée dans la baie, des dimensions de la baie, et de l’épaisseur de la paroi opaque.

Par simplification, si $d_{pext} < 5$ cm ou $K_s > 25$, l’impact du contour de la baie est négligé :

$$F^{fs,C}_{bati_dir} = F^{fs,E}_{bati_dir} = F^{fs}_{bati_dif} = 1$$

Sinon, les coefficients de correction pour le rayonnement direct du soleil dépendent de l’orientation de la paroi et des conditions de référence C ($F^{fs,C}_{bati_dir}$) ou E ($F^{fs,E}_{bati_dir}$).

Tableau XXI : Valeurs du coefficient de prise en compte de l’intégration à l’ouvrage de la paroi vitrée pour le rayonnement direct (soleil) $F^{fs,C}_{bati_dir}$ et $F^{fs,E}_{bati_dir}$ selon la valeur de K_s

Orientation la baie	Conditions	K_s				
		1,5 ou moins	4	7	10	25 ou plus
Sud ($\theta = 0^\circ$)	C clim	0,50	0,80	0,90	0,95	1,0
	C ch	0,65	0,90	0,95	0,95	1,0
	E	0,25	0,70	0,85	0,90	1,0
Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	C et E	0,50	0,75	0,90	0,90	1,0
Nord ($\theta = 180^\circ$)	C et E	0,05	0,20	0,35	0,45	1,0

Le coefficient de correction pour le rayonnement diffus $F_{\text{bati_dif}}^{\text{fs}}$ ne dépend pas de l'orientation de la paroi :

Tableau XXII : Valeurs du coefficient de prise en compte de l'intégration à l'ouvrage de la paroi vitrée pour le rayonnement diffus $F_{\text{bati_dif}}^{\text{fs}}$ selon la valeur de K_s

Orientation la baie	Valeur de K_s				
	1,5 ou moins	4	7	10	25 ou plus
Toutes	0,55	0,80	0,90	0,90	1,0

Pour des valeurs de K_s intermédiaires, une interpolation linéaire entre les deux valeurs l'encadrant sera réalisée.

Baies d'inclinaison supérieure ou égale à 60° avec masque à projection

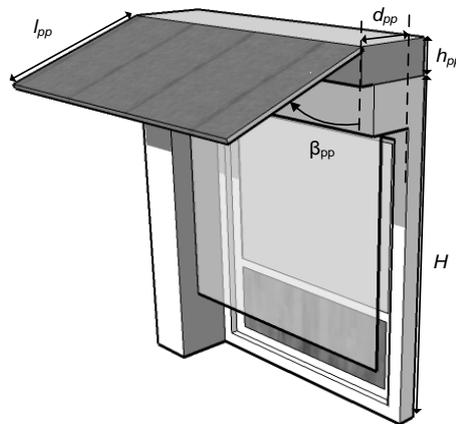


Figure 84 : Illustration: masque à projection inclinée

Pour le rayonnement solaire direct, on introduit un coefficient caractéristique des dimensions du masque à projection:

$$r_{pp} = \frac{l_{pp}}{H} \quad (\text{Formule 181}) ;$$

Où :

- l_{pp} est la longueur du masque à projection,
- H est la hauteur de la baie, telle que définie en Figure 84.

On introduit β_{pp} l'angle entre la paroi verticale et le plan du masque à projection, τ le facteur de transmission global du matériau constituant ce dernier, et C_o le coefficient d'ouverture du masque, équivalent à celui d'un masque à projection, tel que défini dans la norme NF EN 14500.

Pour l'éclairage direct du soleil :

Tableau XXIII : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement direct (soleil) $F_{bati_dir}^{s}$

Γ_{pp}	K_s	Orientation de la baie	Cond.	$\beta_{pp} = 45^\circ$			$\beta_{pp} = 90^\circ$		
				$\tau=0$	$\tau=0,2 C_o=0$	$\tau=0,2 C_o=0,2$	$\tau=0$	$\tau=0,2 C_o=0$	$\tau=0,2 C_o=0,2$
0	1,5 ou moins	Sud ($\theta=0^\circ$)	C clim	0,45					
			C ch	0,60					
			E	0,20					
		Est/ouest ($\theta=270^\circ/90^\circ$)	C et E 0,55						
		Nord ($\theta=180^\circ$)	C et E 0,05						
	7	Sud ($\theta=0^\circ$)	C	0,85					
			E	0,75					
		Est/ouest ($\theta=270^\circ/90^\circ$)	C et E 0,90						
		Nord ($\theta=180^\circ$)	C et E 0,55						
	25 ou plus	Toute orientation	C et E	1					
0,5	1,5 ou moins	Sud ($\theta=0^\circ$)	C clim	0,20	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35
			C ch	0,30	0,35	0,40	0,50	0,50	0,55
			E	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10
		Est/ouest ($\theta=270^\circ/90^\circ$)	C et E 0,30 0,35 0,35 0,50 0,50 0,50						
		Nord ($\theta=180^\circ$)	C et E 0,05 0,05 0,05 0,05 0,05 0,05						
	7	Sud ($\theta=0^\circ$)	C clim	0,45	0,50	0,50	0,65	0,65	0,70
			C ch	0,55	0,60	0,65	0,80	0,80	0,80
		E	0,20	0,30	0,30	0,30	0,35	0,40	
		Est/ouest ($\theta=270^\circ/90^\circ$)	C et E 0,50 0,55 0,60 0,75 0,75 0,75						
	Nord ($\theta=180^\circ$)	C et E 0,50 0,50 0,50 0,65 0,65 0,65							
	25 ou plus	Sud ($\theta=0^\circ$)	C clim	0,60	0,65	0,70	0,80	0,80	0,85
			C ch	0,75	0,75	0,80	0,95	0,95	0,95
			E	0,40	0,50	0,55	0,55	0,55	0,65
		Est/ouest ($\theta=270^\circ/90^\circ$)	C et E 0,70 0,75 0,75 0,90 0,90 0,90						
		Nord ($\theta=180^\circ$)	C et E 0,85 0,85 0,90 1 1 1						

Tableau XXIII (suite) : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement direct (soleil) $F_{bati_dir}^{s}$

r_{pp}	K_s	Orientation de la baie	Cond.	$\beta_{pp} = 45^\circ$			$\beta_{pp} = 90^\circ$		
				$\tau=0$	$\tau=0,2 C_o=0$	$\tau=0,2 C_o=0,2$	$\tau=0$	$\tau=0,2 C_o=0$	$\tau=0,2 C_o=0,2$
1	1,5 ou moins	Sud ($\theta=0^\circ$)	C clim	0	0,10	0,10	0,20	0,20	0,25
			C ch	0,05	0,10	0,15	0,35	0,35	0,40
			E	0	0,05	0,05	0	0	0,05
		Est/ouest ($\theta=270^\circ/90^\circ$)	C et E	0,05	0,10	0,15	0,30	0,35	0,35
		Nord ($\theta=180^\circ$)	C et E	0	0	0	0,05	0,05	0,05
	7	Sud ($\theta=0^\circ$)	C clim	0,05	0,15	0,20	0,35	0,35	0,45
			C ch	0,10	0,20	0,25	0,55	0,55	0,60
			E	0	0,10	0,15	0,05	0,10	0,20
		Est/ouest ($\theta=270^\circ/90^\circ$)	C et E	0,10	0,20	0,25	0,45	0,50	0,55
		Nord ($\theta=180^\circ$)	C et E	0,20	0,25	0,30	0,60	0,60	0,60
	25 ou plus	Sud ($\theta=0^\circ$)	C clim	0,10	0,25	0,30	0,45	0,50	0,55
			C ch	0,20	0,30	0,35	0,70	0,70	0,75
			E	0	0,15	0,20	0,10	0,15	0,30
		Est/ouest ($\theta=270^\circ/90^\circ$)	C et E	0,15	0,30	0,35	0,60	0,60	0,70
		Nord ($\theta=180^\circ$)	C et E	0,40	0,45	0,50	0,95	0,95	0,95

Pour l'éclairement diffus du ciel et réfléchi par le sol :

Tableau XXIV : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement diffus (ciel et sol) $F_{bati_dif}^{s}$

K_s	$\beta_{pp} = 45^\circ$	$\beta_{pp} = 90^\circ$
1,5 ou moins	0,30	0,55
7	0,45	0,90
25 ou plus	0,50	0,95

Baie verticale avec brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées

A défaut de prise en compte dans la méthode de calcul de destination, le cas de figure des baies avec brise-soleil à lames fixes inclinées est pris en compte au travers d'une méthode simplifiée. Le coefficient intègre également la correction associée à l'épaisseur de la paroi opaque.

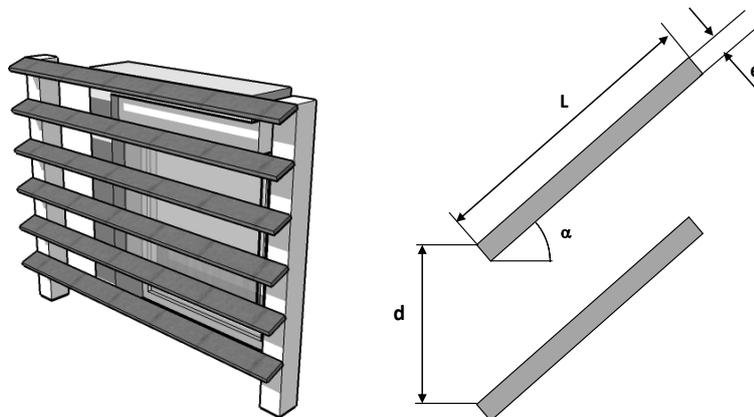


Figure 85 : Brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées

La méthode simplifiée consiste à assimiler le brise-soleil à une protection rapportée à lames minces équivalente. Cette méthode n'est applicable que pour des parois verticales et pour des produits dont les lames sont assimilables à des parallélépipèdes, dont l'épaisseur e est inférieure à 10% de la largeur L (soit $e < 0,1 \times L$). Les coefficients de correction calculés selon cette méthode doivent être arrondis à 0.05 près (exemple $0.21=0.20$ et $0.23 = 0.27 =0.25$).

Les étapes sont les suivantes :

- **Détermination des caractéristiques de transmission équivalentes du brise-soleil à lames inclinées**

Les caractéristiques de transmission équivalente pour les rayonnements directs, diffus du ciel et réfléchi par le sol se calculent selon l'Annexe A de la norme XP P50-777, pour l'angle d'inclinaison α propre au brise-soleil étudié et pour 7 angles de profils η (de 0° à 90°) du rayonnement direct.

Tableau XXV : Récapitulatif des caractéristiques de transmission énergétique du brise-soleil à lames fixes inclinées calculées selon l'annexe A de la norme XP P-50-777

η	$T_{e,dir-h}(\eta)$							$T_{e,dif-ciel-h}$	$T_{e,ref-sol-h}$
	0	15	30	45	60	75	90		
								-	-

Le calcul est mené pour les caractéristiques de réflexion énergétique des éléments du brise-soleil, et pour le ratio géométrique $r = d/L$ propre au brise-soleil étudié. La transmission équivalente est conventionnellement nulle pour un angle de profil de 90° . Pour des angles de profils compris entre les valeurs de η du Tableau XXV, le $T_{dir-h}(\eta)$ se détermine par interpolation linéaire.

- **Calcul du coefficient de correction du brise-soleil seul pour le rayonnement direct du soleil :**

Le calcul d'un coefficient de correction applicable au facteur de transmission solaire de la baie implique de réaliser un calcul du rayonnement global transmis au travers des lames du brise-soleil au pas de temps horaire t , et d'intégrer ensuite ces résultats sur l'ensemble de la période considérée $[t1 ; t2]$ (variable selon les conditions Cch, Cclim ou E). Le calcul est mené à partir des données météorologique de la zone climatique H2b (La Rochelle) au sens de *l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments*.

Pour une heure donnée, dans la zone climatique considérée, il est nécessaire de connaître :

- $\Psi(t)$, angle entre la direction du soleil projetée dans le plan horizontal et la direction du sud (en degrés),
- $\gamma(t)$, hauteur du soleil par rapport au plan horizontal (en degrés),
- $I_{Dn}(t)$, intensité du rayonnement solaire direct, mesurée normale aux rayons incidents (en W/m^2),

On rappelle que θ est l'orientation de la baie telle que définie au §1.5.1.

On réalise alors pour chacune de ces heures les calculs des grandeurs suivantes :

- $\omega(t)$, angle entre le rayon incident et la normale à la paroi verticale considérée (en degrés),

$$\omega(t) = \text{Min}[90; \text{acos}(\cos(\gamma(t)) \cdot \cos(\Psi(t) - \theta))] \quad (\text{Formule 182}) ;$$

- $Drp(t)$, flux solaire direct incident sur le plan extérieur du brise-soleil (en W/m^2) :

$$Drp(t) = I_{Dn}(t) \cdot \cos(\omega(t)) \quad (\text{Formule 183}) ;$$

- $\eta(t)$, angle entre la projection du rayon incident sur le plan vertical perpendiculaire à la paroi et la normale à la paroi considérée (angle de profil, en degrés) :

$$\eta(t) = \arctan\left(\frac{\tan(\gamma(t))}{\cos(\Psi(t) - \theta)}\right) \quad (\text{Formule 184}) ;$$

- $Drp^*(t)$ le flux solaire direct transmis par le brise-soleil sur la paroi considérée à une heure donnée t (en W/m^2) :

$$Drp^*(t) = \tau_{e,dir-h}(\eta(t)) \cdot Drp(t) \quad (\text{Formule 185}) ;$$

Où $\tau_{e,dir-h}(\eta(t))$ est le facteur de transmission solaire équivalent du brise-soleil considéré pour un rayonnement incident direct, déterminé à partir du Tableau XXV.

Au final, le coefficient de correction du brise-soleil seul pour le rayonnement direct du soleil est le suivant :

$$F_{bati_dir_BS}^{fs} = \frac{\sum_{t=t1}^{t2} Drp^*(t)}{\sum_{t=t1}^{t2} Drp(t)} \quad (\text{Formule 186}) ;$$

Les bornes t1 et t2 sont à adapter en fonction des conditions de calcul considérées à partir du tableau suivant (exprimés en heures annuelles, de 0 à 8 760 h) :

Tableau XXVI : Bornes d'intégration pour le calcul du coefficient de correction lié au brise-soleil à lames fixes inclinées, dans le cas du rayonnement direct du soleil

Conditions	t1 [h]	t2 [h]
Cch	7 297	2 880
Cclim	1	8 760
E	3 625	5 832

Note : pour les conditions Cch, l'intégration en période de chauffage seule se fait sur l'union de deux intervalles : de janvier à fin avril d'une part (t1 = 1, t2 = 2 880) et de novembre à fin décembre d'autre part (t1 = 7 297, t2 = 8 760)

- **Calcul du coefficient de correction du brise-soleil seul pour le rayonnement diffus du ciel et du sol :**

Le facteur de réduction du rayonnement diffus hémisphérique du brise-soleil seul se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$F_{bati_dif_BS}^{fs} = \frac{R_{dif}^{fs} \cdot \tau_{e,dif-ciel-h} + R_{ref}^{fs} \cdot \tau_{e,ref-sol-h}}{R_{dif}^{fs} + R_{ref}^{fs}} \quad (\text{Formule 187}) ;$$

Les ratios d'énergie correspondant aux deux types de rayonnement diffus sont déterminés en fonction de l'orientation de la paroi et des conditions de calcul à l'aide du tableau suivant :

Tableau XXVII : Part des rayonnements diffus du ciel R_{dif}^{fs} et réfléchi par le sol R_{ref}^{fs} atteignant une surface selon son inclinaison et son orientation

Orientation	Condition Cclim / Cch		Condition E	
	$R_{dif}^{fs,C}$	$R_{ref}^{fs,C}$	$R_{dif}^{fs,E}$	$R_{ref}^{fs,E}$
Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,30	0,15	0,40	0,20
Ouest ($\theta = 90^\circ$)	0,40	0,15	0,35	0,20
Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,65	0,30	0,60	0,30
Est ($\theta = 270^\circ$)	0,40	0,20	0,40	0,20

- **Coefficient de correction de la baie avec brise-soleil pour le rayonnement diffus du ciel et du sol :**

Le coefficient de correction de la baie avec brise-soleil doit également prendre en compte l'impact éventuel de l'encadrement. Par hypothèse simplificatrice, on considère que ces deux impacts se cumulent :

$$\begin{aligned}
 F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,Cclim}} &= F_{\text{bati_dir(encadrement)}}^{\text{fs,Cclim}} \times F_{\text{bati_dir_BS}}^{\text{fs,Cclim}} \\
 F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,Cch}} &= F_{\text{bati_dir(encadrement)}}^{\text{fs,Cch}} \times F_{\text{bati_dir_BS}}^{\text{fs,Cch}} \\
 F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,E}} &= F_{\text{bati_dir(encadrement)}}^{\text{fs,E}} \times F_{\text{bati_dir_BS}}^{\text{fs,E}} \\
 F_{\text{bati_dif}}^{\text{fs}} &= F_{\text{bati_dif(encadrement)}}^{\text{fs}} \times F_{\text{bati_dif_BS}}^{\text{fs}}
 \end{aligned}
 \tag{Formule 188}$$

Où les coefficients dus à l'encadrement de la paroi vitrée $F_{\text{bati_dir(encadrement)}}^{\text{fs,Cclim}}$, $F_{\text{bati_dir(encadrement)}}^{\text{fs,Cch}}$, $F_{\text{bati_dir(encadrement)}}^{\text{fs,E}}$ et $F_{\text{bati_dif(encadrement)}}^{\text{fs}}$ sont déterminés pour la baie sans brise-soleil, à partir du Tableau XXI et du Tableau XXII.

- **Application à une configuration type :**

Des résultats finaux de coefficients de correction sont donnés pour une configuration type de brise-soleil à lames fixes inclinées, en fonction du Ks de l'encadrement de la baie.

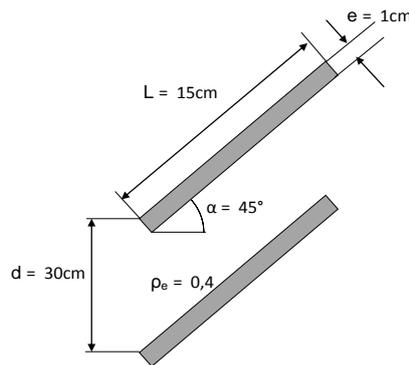


Figure 86 : Caractéristiques types de brise-soleil à lames fixes inclinées

L'application de la méthode de la norme XP P50-777 fournit les caractéristiques énergétiques suivantes :

Tableau XXVIII : Résultats d'application de la méthode de la norme XP P50-777 pour un brise-soleil avec les caractéristiques types décrites ci-dessus

η	$T_{e,dir-h} (\eta)$							$T_{e,dif-ciel-h}$	$T_{e,ref-sol-h}$
	0	15	30	45	60	75	90		
Valeur	0,67	0,58	0,47	0,33	0,09	0,05	0,00	0,42	0,79

Sur cette base, le calcul des coefficients de correction aboutit aux résultats suivants :

Tableau XXIX : Valeurs des coefficients de correction d'un brise-soleil à lames fixes inclinées pour un rayonnement direct (soleil) $F_{bati_dir}^{fs}$ et diffus (ciel et sol) $F_{bati_dif}^{fs}$

$F_{bati_dir}^{fs}$				
Orientation de la baie	Conditions	K_s		
		1,5 ou moins	7	25 ou plus
Sud ($\theta=0^\circ$)	C clim	0,15	0,25	0,25
	C ch	0,20	0,35	0,35
	E	0,05	0,05	0,10
Est/ouest ($\theta=270^\circ/90^\circ$)	C et E	0,20	0,30	0,35
Nord ($\theta=180^\circ$)	C et E	0,05	0,15	0,20
$F_{bati_dif}^{fs}$				
Toutes	C et E	0,30	0,45	0,50

3.2.3.3 Impact de l'angle d'incidence variable sur le vitrage

Les valeurs des coefficients de prise en compte de l'impact de l'incidence variable pour le rayonnement direct du soleil ($F_{riv_dir}^{fs,C}$ et $F_{riv_dir}^{fs,E}$) et diffus du ciel et du sol ($F_{riv_dif}^{fs}$) sur le vitrage sont données dans le tableau suivant :

Tableau XXX : Valeurs du coefficient de correction lié à l'incidence variable $F_{riv_dir}^{fs,C}$, $F_{riv_dir}^{fs,E}$ et $F_{riv_dif}^{fs}$

		$F_{riv_dir}^{fs,C}$		$F_{riv_dir}^{fs,E}$	$F_{riv_dif}^{fs}$
		Cch	Cclim		
Paroi vitrée proche du nu intérieur ($K_s < 1,7$) et/ou avec protection mobile extérieure en place et/ou avec surplombs, masque à projection ou brise-soleil à lames inclinées fixes		1	1	1	1
Autres cas	Inclinaison proche de la verticale ($60^\circ < \beta \leq 90^\circ$) Orientation proche du sud ($\theta < 30^\circ$ ou $\theta > 330^\circ$)	1	0,95	0,9	0,95
	Autres inclinaisons et/ou orientations	0,95		0,95	

3.3 Méthode générale de prise en compte du facteur de transmission lumineuse TL_w de la paroi vitrée

Dans le cadre des facteurs de transmission lumineuse, les normes listées au §. 1.4 s'articulent de la manière suivante :

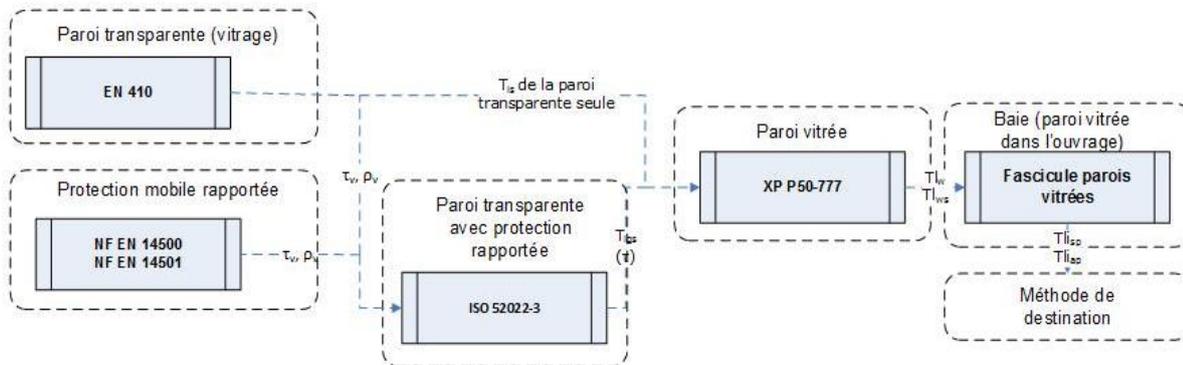


Figure 87 : Communications entre les textes normatifs dans le cadre des propriétés lumineuses

Les corrections appliquées sont les suivantes :

- Correctif pour l'impact de l'intégration à l'ouvrage $F^{l}_{bâti}$: contour de la baie, ainsi que les éventuels masques proches ont pour effet de réduire l'éclairement au niveau du plan intérieur de la baie.

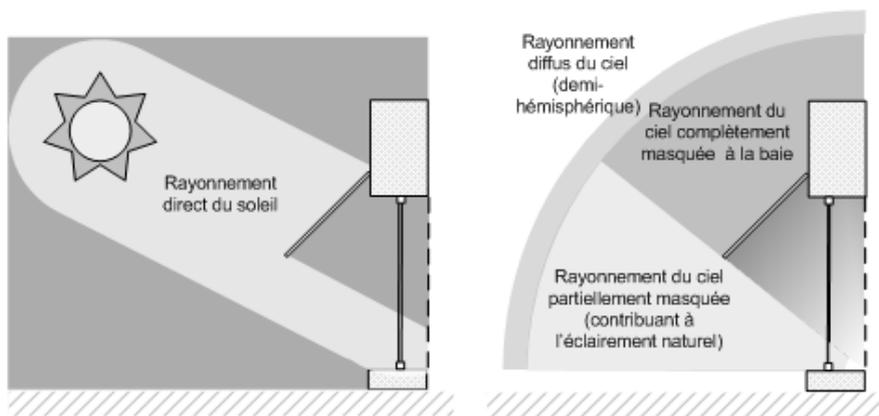


Figure 88 : Réduction d'éclairement liée à un masque à projection et à l'ouvrage pour les rayonnements du soleil et du ciel

- Correctif pour l'impact de l'incidence variable de l'éclairement provenant du soleil, du ciel et du sol sur le vitrage: F^{fl}_{riv}

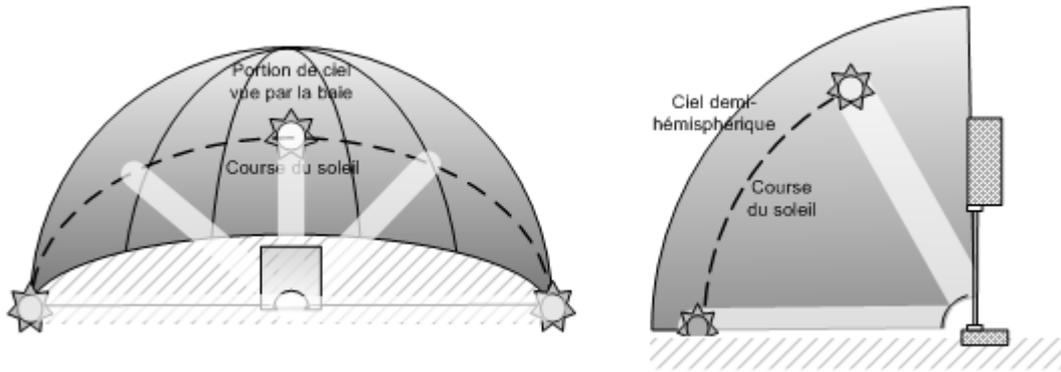


Figure 89 : Variations de l'angle d'incidence sur le vitrage pour une baie verticale orientée sud

Il convient de considérer cette distinction comme artificielle. En conséquence, le correctif dû à l'intégration dans l'ouvrage a un effet sélectif sur le rayonnement atteignant le vitrage. De fait, les rayonnements avec des angles d'incidence les plus éloignés de la normale, donc les plus sensibles à ce paramètre, seront arrêtés par les masques générés par l'ouvrage. Dès lors, le correctif dû à l'angle d'incidence s'appliquera uniquement aux rayonnements atteignant la vitre avec un angle proche de la normale donc peu sensible à ce paramètre. Il en ressort que, plus le masque est sélectif, plus le correctif sur l'angle d'incidence est proche de 1.

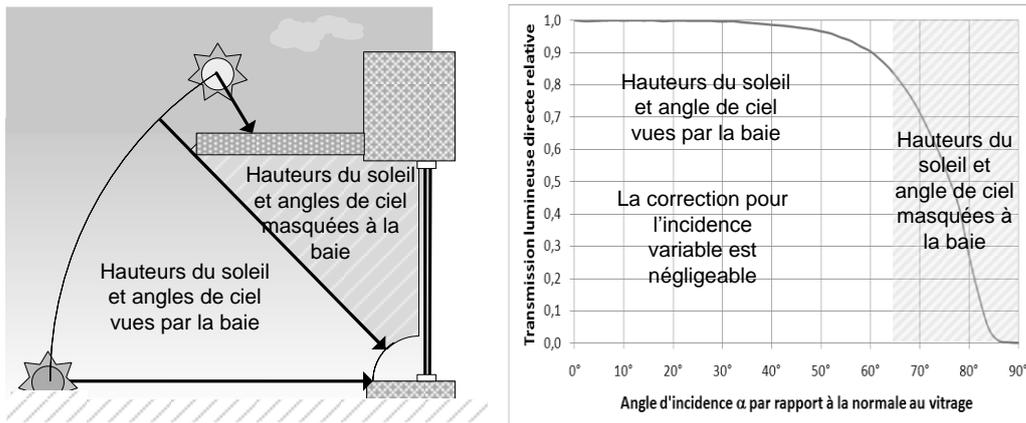


Figure 90 : Exemple d'effet sélectif pour les masques liés à l'ouvrage sur les plages de variations de l'incidence sur le vitrage (hauteur du soleil seule)

3.3.1 Formules générales

3.3.1.1 Paroi transparente ou translucide sans protection rapportée en place

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Tableau XXXI : Sorties des facteurs de transmission lumineuse pour les cas courants sans protection rapportée

Incidence	Composante (à l'intérieur)	Résultat de l'application de la méthode
Toutes incidences	Global	$Ti_{sp,b}$
	Diffusé	$Tlid_{sp,b}$

Note : dans ce cas de figure, l'hypothèse de simplification admise est que la valeur du facteur de transmission lumineuse est indépendante de la nature du rayonnement (directe, diffuse ou réfléchi par le sol) :

$$Ti_{sp,b} = Tlid_{sp,b} = Tlref_{sp,b}$$

De même la part d'éclairement à incidence directe transmise sous forme diffuse est identique à la part d'éclairement réfléchi par le sol, transmise sous forme diffuse :

$$Tlid_{sp,b} = Tlref_{sp,b}$$

A partir des données issues des normes, les résultats sont calculés de la manière suivante :

$$Ti_{sp,b} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl}_{bati_dir} \cdot F^{fl}_{riv_dir} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl}_{bati_dif} \cdot F^{fl}_{riv_dif} \right) \times TL_w \quad \text{(Formule 189) ;}$$

$$Tlid_{sp,b} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl}_{bati_dir} \cdot F^{fl}_{riv_dir} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl}_{bati_dif} \cdot F^{fl}_{riv_dif} \right) \times TL_{w_dif} \quad \text{(Formule 190) ;}$$

Où :

- $F^{fl}_{bati_dir}$ et $F^{fl}_{bati_dif}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage, calculés selon la procédure décrite au §3.3.2.2 ;
- $F^{fl}_{riv_dir}$ et $F^{fl}_{riv_dif}$, sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus, calculés selon la procédure décrite au §3.3.2.3 ;
- R_{dir}^{fl} est la part annuelle de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global de la baie, déterminé par interpolation entre les valeurs du Tableau XXXIV (§3.3.2.1).

3.3.1.2 Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées en place

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Tableau XXXII : Sorties des facteurs de transmission lumineuse pour les cas courants avec protection rapportée autres qu'à lames inclinées en place

<i>Incidence</i>	<i>Composante (à l'intérieur)</i>	<i>Résultat de l'application de la méthode</i>
<i>Toutes incidences</i>	Global	$Tli_{ap,b}$
	Diffusé	$Tlid_{ap,b}$

Note : dans ce cas de figure, l'hypothèse de simplification admise est que la valeur du facteur de transmission lumineuse est indépendante de la nature du rayonnement (directe, diffuse ou réfléchi par le sol). De ce fait, une unique valeur est nécessaire :

$$Tli_{ap,dir,b} = Tlid_{ap,dif,b} = Tlid_{ap,ref,b} = Tli_{ap,b}$$

De même la part du rayonnement à incidence directe transmise sous forme diffuse est considérée égale à la part du rayonnement à incidence réfléchi par le sol transmise sous forme diffuse :

$$Tlid_{ap,dir,b} = Tlid_{ap,ref,b}$$

Pour la baie avec protection rapportée en place, la formule générale d'application pour le facteur de transmission lumineuse est la suivante :

$$Tli_{ap,b} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F_{bati_dir}^{fl} \cdot F_{riv_dir}^{fl} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F_{bati_dif}^{fl} \cdot F_{riv_dif}^{fl} \right) \times TL_{ws} \quad (\text{Formule 191}) ;$$

$$Tlid_{ap,b} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F_{bati_dir}^{fl} \cdot F_{riv_dir}^{fl} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F_{bati_dif}^{fl} \cdot F_{riv_dif}^{fl} \right) \times TL_{ws_dif} \quad (\text{Formule 192}) ;$$

Où :

- $F_{bati_dir}^{fl}$ et $F_{bati_dif}^{fl}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage, calculés selon la procédure décrite au §3.3.2.2.
- $F_{riv_dir}^{fl}$ et $F_{riv_dif}^{fl}$, sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus, calculés selon la procédure décrite au §3.3.2.3. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**
- R_{dir}^{fl} est la part annuelle de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global de la baie, déterminé par interpolation entre les valeurs du Tableau XXXIV (§3.3.2.1).

3.3.1.3 Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée à lames inclinées en place

Pour une protection à lames, on opère une distinction sur l'incidence du rayonnement.

Les données de sortie se résument donc au tableau ci-dessous :

Tableau XXXIII : Sorties des facteurs de transmission lumineuse pour les cas courants avec protection rapportée à lames inclinées en place

Incidence	Composante	Résultat de l'application de la méthode
Directe quelconque	Global	$Tli_{ap_dir,b}(\gamma', \alpha)$
	Diffusé	$Tlid_{ap_dir,b}(\gamma', \alpha)$
Diffuse	Global	$Tld_{ap_dif,b}(\alpha)$
Réfléchie	Global	$Tld_{ap_ref,b}(\alpha)$
	Diffusé	$Tlid_{ap_ref,b}(\alpha)$

Note : les valeurs sont déterminées pour γ' variant de 0° à 75° par pas de 15° (soit 6 valeurs), et α variant de 0° à 90° par pas de 15° (soit 7 valeurs).

Pour la baie avec protection rapportée en place, les résultats sont calculés de la manière suivante à partir des données issues des normes (avec $\gamma' = \eta$) :

$$\begin{bmatrix} Tli_{ap_dir,b}(\gamma', \alpha) \\ Tlid_{ap_dir,b}(\gamma', \alpha) \end{bmatrix} = F^{fl}_{bati_dir} \times F^{fl}_{riv_dir} \times \begin{bmatrix} TL_{ws_dir}(\eta, \alpha) \\ TL_{ws_dir,dif}(\eta, \alpha) \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 193) ;}$$

$$\begin{bmatrix} Tld_{ap_dif,b}(\alpha) \\ Tld_{ap_ref,b}(\alpha) \\ Tlid_{ap_ref,b}(\alpha) \end{bmatrix} = F^{fl}_{bati_dif} \times F^{fl}_{riv_dif} \times \begin{bmatrix} TL_{ws_dif}(\alpha) \\ TL_{ws_ref}(\alpha) \\ TL_{ws_ref,dif}(\alpha) \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 194) ;}$$

Où :

- $F^{fl}_{bati_dir}$ et $F^{fl}_{bati_dif}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage, calculés selon la procédure décrite au §3.3.2.2 ;
- $F^{fl}_{riv_dir}$ et $F^{fl}_{riv_dif}$, sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus, calculés selon la procédure décrite au §3.3.2.3.

3.3.2 Coefficients de correction

Le présent chapitre décrit les méthodes de détermination des coefficients de correction des facteurs de transmission lumineuse pour l'intégration à l'ouvrage et pour la variation de l'angle d'incidence du rayonnement.

La méthode distingue les coefficients pour l'éclairement direct provenant du soleil et diffus provenant du ciel et du sol. Ainsi, la première partie du chapitre est consacrée aux poids des éclairagements directs du soleil et diffus sur une année, permettant d'appliquer ces deux coefficients dans les formules générales.

Par souci de simplification, il n'est pas estimé de coefficient de correction pour l'éclairement réfléchi par le sol, étant donné la faible contribution de ce dernier à l'éclairement global.

Dans l'ensemble des tableaux du présent sous-chapitre, les interpolations linéaires entre plusieurs valeurs sont possibles, lorsque les entrées des tableaux sont des valeurs numériques (y compris pour les orientations et inclinaisons). Les extrapolations au-delà des bornes des entrées des tableaux ne sont pas permises : on retient alors la valeur du tableau correspondant à la borne considérée.

3.3.2.1 Distinction entre éclairagements direct du soleil et diffus du ciel et du sol

Soient les pourcentages d'éclairement direct du soleil R_{dir}^{fl} pour les couples d'inclinaisons/orientations ci-dessous :

Tableau XXXIV : Part du rayonnement total sur la baie en incidence directe, noté R_{dir}^{fl}

Inclinaison de la paroi	Orientations de la paroi	R_{dir}^{fl}
Vertical ($\beta = 90^\circ$)	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,50
	Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,40
	Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,05
Inclinée ($\beta = 45^\circ$)	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,60
	Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,50
	Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,25
Horizontal ($\beta = 0^\circ$)		0,50

3.3.2.2 Prise en compte de l'intégration à l'ouvrage

La prise en compte de l'intégration à l'ouvrage intervient dans la méthode de calcul de destination, au travers d'une description de masques proches. Certains cas de figure peuvent être exclus de cette description telles les protections à projection et les brise-soleil fixes.

On introduit un coefficient de forme K caractérisant la baie⁶ :

$$K = \frac{L.H}{e.(L + H)} \quad \text{(Formule 195) ;}$$

⁶ Note : le facteur K est indépendant de la position de la paroi vitrée dans la baie, au nu intérieur ou extérieur.

Où :

- e est l'épaisseur de la paroi opaque sur laquelle est située la baie, isolation comprise, (distance entre le plan intérieur du mur et le plan extérieur du mur),
- L et H sont les dimensions de la baie, telles que définies en Figure 91.

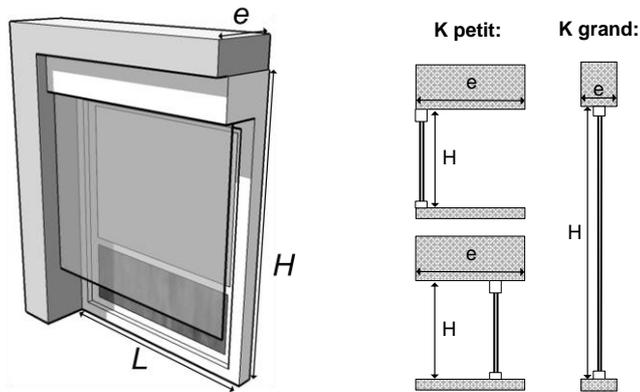


Figure 91 : Prise en compte du contour de la baie sur le facteur de transmission lumineuse

Baie d'inclinaison quelconque sans masques proches de conception (contour de la baie seulement)

Le contour de la baie a pour effet de réduire la contribution de la baie à l'éclairage naturel intérieur. L'impact est plus ou moins grand selon les dimensions de la baie et l'épaisseur de la paroi opaque

Si $e < 5$ cm, l'impact du contour est négligé : $F_{bati_dir}^{fl} = 1$ et $F_{bati_dif}^{fl} = 1$. Sinon, le coefficient de correction pour l'éclairage direct du soleil $F_{bati_dir}^{fl}$ est obtenu à partir du tableau suivant :

Tableau XXXV : Valeurs du coefficient de prise en compte du tableau de la baie pour le rayonnement direct (soleil) $F_{bati_dir}^{fl}$ selon la valeur de K

Orientation et inclinaison de la paroi vitrée		Coefficient caractéristique K		
		1 (ou moins)	2	5 (ou plus)
Sud ($\theta = 0^\circ$)	Vertical ($\beta = 90^\circ$)	0,45	0,70	0,85
	Inclinée ($\beta = 45^\circ$)	0,65	0,80	0,95
Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	Vertical ($\beta = 90^\circ$)	0,55	0,75	0,90
	Inclinée ($\beta = 45^\circ$)	0,60	0,75	0,90
Nord ($\theta = 180^\circ$)	Vertical ($\beta = 90^\circ$)	0,15	0,30	0,60
	Inclinée ($\beta = 45^\circ$)	0,15	0,40	0,70
Horizontal ($\beta = 0^\circ$)		0,50	0,70	0,90

Le coefficient de correction pour l'éclairement diffus est obtenu à partir du tableau suivant :

Tableau XXXVI : Valeurs du coefficient de prise en compte du tableau de la baie pour le rayonnement diffus (ciel et sol) $F^{fl}_{bati_dif}$

Inclinaison de la paroi vitrée	Coefficient caractéristique K		
	1 (ou moins)	2	5 (ou plus)
Vertical ($\beta = 90^\circ$)	0,50	0,70	0,85
Inclinée ($\beta = 45^\circ$)	0,50	0,75	0,90
Horizontal ($\beta = 0^\circ$)	0,50	0,70	0,85

Baie verticale avec débords latéraux et/ou surplombs

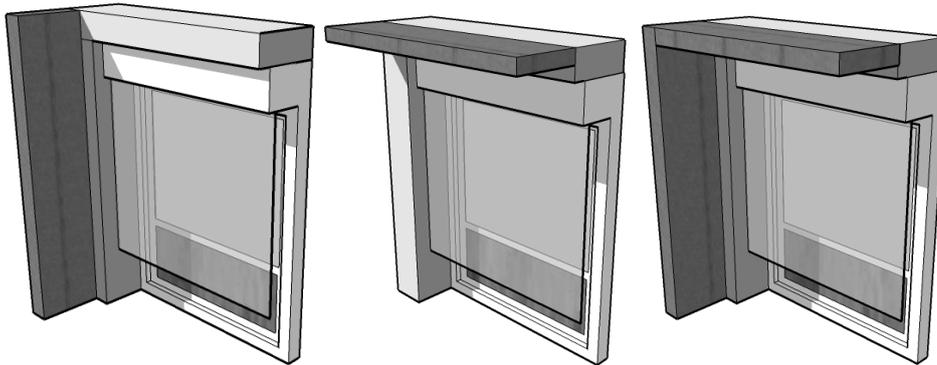


Figure 92 : Masques proches de type débords latéraux et surplombs

La prise en compte des masques proches de type débords latéraux et surplombs des baies verticales relève directement de la méthode de calcul de destination. Cette prise en compte passe par des masques proches verticaux et horizontaux équivalents, englobant l'impact du contour des baies.

Dans le cadre du facteur de transmission lumineuse, ce cas de figure se traduit par :

$$F^{fl}_{bati_dir} = F^{fl}_{bati_dif} = 1$$

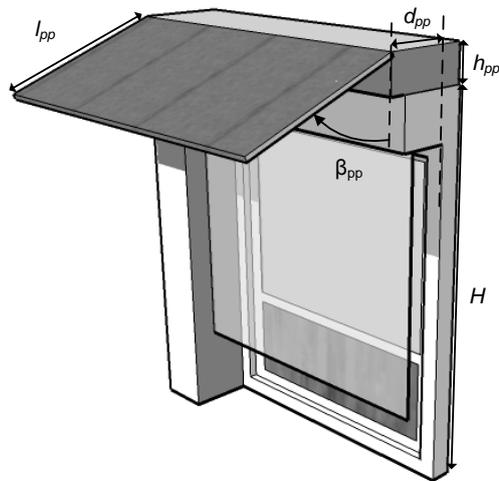
Baie verticale avec masque à projection fixe inclinée

Figure 93 : Masque à projection fixe inclinée

Pour le rayonnement solaire direct, on introduit un coefficient caractéristique des dimensions du masque à projection:

$$r_{pp} = \frac{l_{pp}}{H}$$

(Formule 196) ;

Où :

- l_{pp} est la longueur du masque à projection,
- H est la hauteur de la baie, telle que définie en Figure 93.

On introduit β_{pp} l'angle entre la paroi verticale et le plan du masque à projection, τ le facteur de transmission global du matériau constituant ce dernier, et C_o le coefficient d'ouverture du masque, équivalent à celui d'un masque à projection, tel que défini dans la norme NF EN 14500. Les coefficients de correction sont définis dans les tableaux suivants.

Pour l'éclairage direct du soleil :

Tableau XXXVII : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement direct (soleil) $F_{bati_dir}^l$

r_{pp}	K	Orientation de la baie	$\beta_{pp} = 45^\circ$			$\beta_{pp} = 90^\circ$		
			$T_{pp}=0$	$T_{pp}=0,2$ $C_{opp}=0$	$T_{pp}=0,2$ $C_{opp}=0,2$	$T_{pp}=0$	$T_{pp}=0,2$ $C_{opp}=0$	$T_{pp}=0,2$ $C_{opp}=0,2$
0	1 ou moins	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,45					
		Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,55					
		Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,15					
	2	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,70					
		Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,75					
		Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,30					
	5 ou plus	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,85					
		Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,90					
		Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,60					
0,5	1 ou moins	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,25	0,25	0,30	0,40	0,40	0,35
		Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,35	0,35	0,35	0,50	0,50	0,50
		Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15	0,10
	2	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,30	0,30	0,35	0,50	0,50	0,50
		Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,40	0,40	0,45	0,60	0,60	0,60
		Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,25
	5 ou plus	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,40	0,40	0,40	0,60	0,60	0,55
		Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,45	0,45	0,50	0,70	0,70	0,65
		Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,35	0,35	0,35	0,55	0,55	0,45
1	1 ou moins	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,05	0,05	0,10	0,35	0,35	0,25
		Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,10	0,10	0,15	0,40	0,40	0,35
		Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05
	2	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,10	0,10	0,15	0,40	0,40	0,30
		Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,10	0,10	0,15	0,50	0,50	0,40
		Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,15	0,10	0,15	0,20	0,20	0,20
	5 ou plus	Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,10	0,15	0,15	0,50	0,50	0,45
		Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$)	0,15	0,15	0,20	0,60	0,60	0,55
		Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30

Pour l'éclairément diffus du ciel et du sol :

Tableau XXXVIII : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement diffus (ciel et sol) $F_{\text{bati_dif}}^1$

r_{pp}	K	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 90^\circ$
0	1 ou moins	0,50	
	2	0,70	
	5 ou plus	0,85	
0,5	1 ou moins	0,30	0,45
	2	0,40	0,55
	5 ou plus	0,50	0,65
1	1 ou moins	0,15	0,35
	2	0,20	0,50
	5 ou plus	0,30	0,65

Baie verticale avec brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées

A défaut de prise en compte dans la méthode de calcul de destination, le cas de figure des baies avec brise-soleil à lames fixes inclinées est pris en compte au travers d'une méthode simplifiée. Le coefficient intègre également la correction associée à l'épaisseur de la paroi opaque.

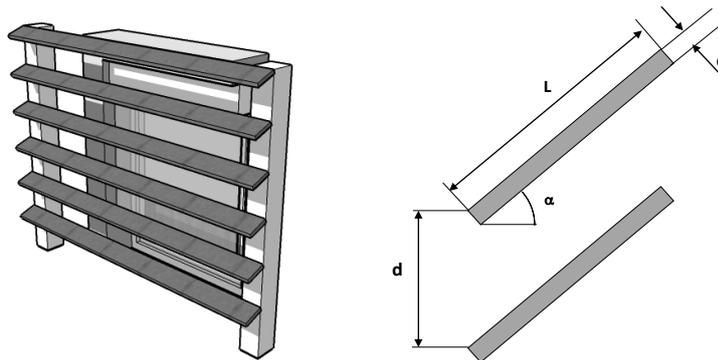


Figure 94 : Brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées en façade

La méthode simplifiée consiste à assimiler le brise-soleil à une protection rapportée à lames minces équivalente. Cette méthode n'est applicable que pour des parois verticales et pour des produits dont les lames sont assimilables à des parallélépipèdes, dont l'épaisseur e est inférieure à 10 % de la largeur L (soit $e < 0,1 \times L$). Les coefficients de correction calculés selon cette méthode doivent être arrondis à 0,05 près (exemple $0,21=0,20$ et $0,23 = 0,27 =0,25$),

- **Détermination des caractéristiques de transmission équivalentes du brise-soleil à lames inclinées**

Les caractéristiques de transmission lumineuse équivalente pour les éclairéments directs, diffus du ciel et réfléchi par le sol se calculent selon l'Annexe A de la norme XP P50-777, pour l'angle d'inclinaison α propre au brise-soleil étudié et pour 7 angles de profils η (de 0° à 90°) du rayonnement direct.

Tableau XXXIX : Récapitulatif des caractéristiques de transmission lumineuse du brise-soleil à lames fixes inclinées calculées selon l'annexe A de la norme XP P-50-777

η	$T_{v,dir-h}(\eta)$							$T_{v,dif-ciel-h}$	$T_{v,ref-sol-h}$
	0	15	30	45	60	75	90		
								-	-

Le calcul est mené pour les caractéristiques de réflexion énergétique des éléments du brise-soleil, et pour le ratio géométrique $r = d/L$ propre au brise-soleil étudié. La transmission équivalente est conventionnellement nulle pour un angle de profil de 90°. Pour des angles de profils compris entre les valeurs de η du Tableau XXXIX, le $T_{v,dir-h}(\eta)$ se détermine par interpolation linéaire.

- **Calcul du coefficient de correction du brise-soleil seul pour l'éclairage direct du soleil :**

Le calcul d'un coefficient de correction applicable au facteur de transmission lumineux de la baie implique de réaliser un calcul de l'éclairage global transmis au travers des lames du brise-soleil, au pas de temps horaire t et d'intégrer ensuite ces résultats sur l'ensemble de la période considérée $[t1 ; t2]$, ici l'année entière. Le calcul est mené à partir de données météorologique de la zone climatique H2b (La Rochelle) au sens de l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

Pour une heure donnée, dans la zone climatique considérée, il est nécessaire de connaître :

- $\Psi(t)$, angle entre la direction du soleil projetée dans le plan horizontal et la direction du sud (en degrés),
- $\gamma(t)$, hauteur du soleil par rapport au plan horizontal (en degrés),
- $E_{Dn}(t)$, intensité du rayonnement lumineux direct du soleil, mesurée normale aux rayons incidents (en Lux),

On rappelle que θ est l'orientation de la baie telle que définie au §1.5.1

On réalise alors pour chacune de ces heures les calculs des grandeurs suivantes :

- $\omega(t)$, angle entre le rayon incident et la normale à la paroi verticale considérée (en degrés),

$$\omega(t) = \text{Min}[90; \text{acos}(\cos(\gamma(t)) \cdot \cos(\Psi(t) - \theta))] \quad (\text{Formule 197}) ;$$

- $E_{rp}(t)$, flux lumineux direct incident sur le plan extérieur du brise-soleil (en Lux) :

$$E_{rp}(t) = E_{Dn}(t) \cdot \cos(\theta(t)) \quad (\text{Formule 198}) ;$$

- $\eta(t)$, angle entre la projection du rayon incident sur le plan vertical perpendiculaire à la paroi et la normale à la paroi considérée (angle de profil, en degrés) :

$$\eta(t) = \arctan\left(\frac{\tan(\gamma(t))}{\cos(\Psi(t) - \theta)}\right) \quad (\text{Formule 199}) ;$$

- $Erp^*(t)$ le flux lumineux direct transmis par le brise-soleil sur la paroi considérée à une heure donnée t (en Lux) :

$$Erp^*(t) = \tau_{v,dir-h}(\eta(t)) \cdot Erp(t) \quad (\text{Formule 200}) ;$$

Où $\tau_{v,dir-h}(\eta(t))$ est le facteur de transmission lumineuse équivalent du brise-soleil pour un éclairage incident direct, déterminé à partir du Tableau XXXIX.

Au final, le coefficient de correction du brise-soleil seul pour l'éclairage direct du soleil est le suivant :

$$F_{bati_dir_BS}^{fl} = \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2} Erp^*(t)}{\sum_{t=t_1}^{t_2} Erp(t)} \quad (\text{Formule 201}) ;$$

L'intégration étant réalisé sur une année entière, $t_1 = 1$ h et $t_2 = 8\,760$ h.

- **Calcul du coefficient de correction du brise-soleil seul pour l'éclairage diffus du ciel et du sol :**

Le facteur de réduction de l'éclairage diffus hémisphérique du brise-soleil seul se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$F_{bati_dif_BS}^{fl} = \frac{R_{dif}^{fl} \cdot \tau_{v,dif-ciel-h} + R_{ref}^{fl} \cdot \tau_{v,ref-sol-h}}{R_{dif}^{fl} + R_{ref}^{fl}} \quad (\text{Formule 202}) ;$$

Les ratios d'énergie correspondant aux deux types de rayonnement diffus sont déterminés en fonction de l'orientation de la paroi et des conditions de calcul à l'aide du tableau suivant :

Tableau XL : part des rayonnements diffus du ciel R_{dif}^{fl} et réfléchi par le sol R_{ref}^{fl} atteignant une surface selon son inclinaison et son orientation

Orientation	R_{dif}^{fl}	R_{ref}^{fl}
Sud ($\theta = 0^\circ$)	0,30	0,20
Ouest ($\theta = 90^\circ$)	0,40	0,20
Nord ($\theta = 180^\circ$)	0,65	0,30
Est ($\theta = 270^\circ$)	0,40	0,20

- **Coefficient de correction de la baie avec brise-soleil pour le rayonnement diffus du ciel et du sol :**

Le coefficient de correction de la baie avec brise-soleil doit également prendre en compte l'impact éventuel de l'encadrement. Par hypothèse simplificatrice, on considère que ces deux impacts se cumulent :

$$F_{bati_dir}^{fl} = F_{bati_dir(encadrement)}^{fl} \times F_{bati_dir_BS}^{fl}$$

$$F_{bati_dif}^{fl} = F_{bati_dif(encadrement)}^{fl} \times F_{bati_dif_BS}^{fl} \quad (\text{Formule 203}) ;$$

Où les coefficients dus à l'encadrement de la paroi vitrée $F_{bati_dir(encadrement)}^{fl}$ et $F_{bati_dif(encadrement)}^{fl}$ sont déterminés pour la baie sans brise-soleil, à partir du Tableau XXXV et du Tableau XXXVI.

- Application à une configuration type :

Des résultats d'application de la méthode simplifiée décrite ci-dessus sont donnés pour une configuration type de brise-soleil à lames fixes inclinées, en fonction du K de l'encadrement de la baie.

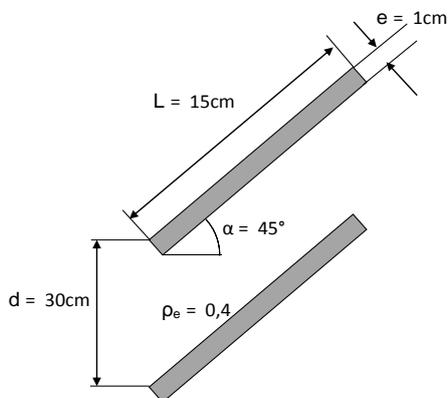


Figure 95 : Caractéristiques types de brise-soleil à lames fixes inclinées

L'application de la méthode de la norme XP P50-777 fournit les caractéristiques lumineuses du brise-soleil suivantes :

Tableau XLI : Résultats d'application en transmission lumineuse de la méthode de la norme XP P50-777 pour un brise-soleil avec les caractéristiques types décrites ci-dessus

η	$T_{v,dir-h}(\eta)$							$T_{v,dif-ciel-h}$	$T_{v,ref-sol-h}$
	0	15	30	45	60	75	90		
Valeur	0,67	0,58	0,47	0,33	0,09	0,05	0,00	0,42	0,79

Sur cette base, le calcul des coefficients de correction du facteur de transmission lumineuse pour l'intégration au bâti aboutit aux résultats suivants :

Tableau XLII : Valeurs des coefficients de correction d'un brise-soleil à lames fixes inclinées pour un rayonnement direct (soleil) $F_{bati_dir}^l$ et pour un rayonnement diffus (ciel et sol) $F_{bati_dif}^l$

$F_{bati_dir}^l$			
Orientation de la baie	K		
	1 (ou moins)	2	5 (ou plus)
Sud ($\alpha = 0^\circ$)	0,10	0,15	0,20
Est/ouest ($\alpha = 270^\circ/90^\circ$)	0,20	0,25	0,30
Nord ($\alpha = 180^\circ$)	0,05	0,05	0,10
$F_{bati_dif}^l$			
Toute orientation	0,25	0,35	0,40

3.3.2.3 Impact de l'angle d'incidence variable

L'impact de l'incidence variable sur le vitrage est défini au travers de coefficient de correction à incidence directe du soleil ($F_{riv,dir}^i$), et diffuse du ciel et du sol ($F_{riv,dif}^i$).

Les valeurs des deux coefficients pour différentes configurations sont données ci-dessous.

Tableau XLIII : Valeurs du coefficient de correction lié à l'incidence variable $F_{riv,dir}^i$ et $F_{riv,dif}^i$

	$F_{riv,dir}^i$	$F_{riv,dif}^i$
Paroi vitrée au nu intérieur avec $K > 1,5$ et/ou avec protection mobile extérieure en place et/ou avec surplombs, masque à projection ou brise-soleil à lames inclinées fixes	1	1
Autres cas	0,95	0,95