

Règles Th-Bat

Vu la directive 98/34/CE du 22 juin 1998 prévoyant une procédure d'information dans le domaine des normes et réglementations techniques

Date de notification : 27/01/2014

Numéro de Notification : 2014/52/F

Fin de la période de statu quo : 28/04/2014

Date de publication : 26/02/2015

Sommaire

A Règles ThU	7
A1 Généralités	7
1 – Introduction aux règles Th-U	7
1.1 – Objet	7
1.2 – Contenu	7
1.3 – Références normatives	7
1.4 – Définitions, symboles et indices	9
1.5 – Conventions	14
2 – Détermination des caractéristiques thermiques utiles	19
3 – Coefficient de réduction de la température (b)	20
 A2 Matériaux	 21
1. Introduction	21
1.1 Références normatives	21
1.2 Termes et définitions, symboles et unités	22
1.3 Caractéristiques thermiques	23
2. Valeurs par défaut	25
2.1 Pierres	25
2.2 Bétons	27
2.3 Plâtres	32
2.4 Terre cuite	33
2.5 Végétaux	34
2.6 Matériaux isolants manufacturés	36
2.7 Matières plastiques synthétiques compactes, mastics et produits d'étanchéité	46
2.8 Métaux	46
2.9 Autres matériaux	48
 A3 Parois vitrées	 51

1 – Introduction	51
1.1 – Références normatives	51
1.2 – Définitions, symboles et indices	52
1.2.1 – Définitions	52
1.2.2 – Symboles	54
1.2.3 – Indices	54
2 – Méthodes de calcul	55
2.1 – Principe	55
2.2 – Calcul de la paroi vitrée	55
2.2.1 – Fenêtres, portes et portes-fenêtres	56
2.2.2 – Lanterneaux	59
2.2.3 – Paroi vitrée avec fermetures et stores	63
2.2.4 – Blocs-baies	67
2.2.5 – Façades rideaux	68
2.2.6 – Puits de lumière	71
2.2.7 – Parois en briques de verre	72
2.2.8 – Présentation des résultats	74
2.3 – Calcul des éléments de la paroi vitrée	74
2.3.1 – Éléments de remplissage	74
2.3.2 – La menuiserie	74
2.3.3 – La jonction : menuiserie – élément de remplissage	86
2.3.4 – Fermetures	88
2.3.5 – Coffres de volet roulant	89
A4 Parois opaques	92
1. Introduction	92
1.1 Références normatives	92
1.2 Définitions symboles et indices	93

1.2.1 Définitions	93
1.2.2 Symboles	95
1.2.3 Indices	95
1.3 Conventions	96
1.3.1 Propriétés thermiques utiles des produits et matériaux de construction	96
1.3.2 Propriétés thermiques utiles des parois	96
1.3.3 Résistances superficielles	96
2. Méthodes de calcul	97
2.1 Résistance thermique R	97
2.1.1 Couches thermiquement homogènes	97
2.1.2 Couches thermiquement hétérogènes	103
2.1.3 Résistance superficielle	103
2.2 Coefficient de transmission surfacique U	105
2.2.1 Parois donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé	105
2.2.2 Parois en contact avec le sol	113
2.2.3 Parois donnant sur vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé	117
2.2.4 Parois en contact avec le sol et donnant sur un volume non chauffé	120
3. Valeurs par défaut	120
3.1 Etalement sur un plancher haut d'un matériau en vrac	120
3.1.1 Déversement manuel sur plancher plat	121
3.1.2 - Soufflage à la machine sur plancher plat	122
3.1.3 Déversement manuel sur plancher à solives	123
3.1.4 Soufflage à la machine sur plancher à solives	124
A5 Ponts thermiques	125
1 – Introduction	125
1.1 – Références normatives	125
1.2 – Définitions, symboles et indices	125
2 – Méthodes de calcul des ponts thermiques	128
2.1 – Définition du pont thermique	128
2.2 – Types de ponts thermiques	128
2.3 – Procédure de calcul	129

B Règles ThS	133
1. Préambule et contexte	133
2. Définitions et phénomènes mis en jeu	134
2.1 Généralités	134
2.2 Définition des termes associés aux composants et à l'ouvrage	136
3. Nomenclature	139
4. Règles TH-S partie baie	141
4.1 Conventions d'indices	141
4.2 Données d'entrée des règles TH-S	142
4.2.1 Panorama normatif	142
4.2.2 L'apport des règles Th-S	143
4.2.3 Données d'entrée et sortie des règles Th-S	144
4.3 Détermination du facteur de transmission solaire pour les cas courants de baies	146
4.3.1 Formules générales	148
4.3.2 Coefficients de correction	153
4.4 Application de la méthode pour les cas particuliers	163
4.4.1 Plaque de polycarbonate seule	163
4.4.2 Lanterneaux ponctuels	164
4.4.3 Lanterneaux filants	165
4.4.4 Bardages et couvertures en polycarbonate	166
5. Règles TH-S pour les parois opaques	168
5.1 Application de la méthode dans le cas général	168
5.2 Application de la méthode pour certains cas particuliers	170
5.2.1 Paroi opaque avec lame d'air extérieure ventilée	170
5.2.2 Paroi opaque végétalisée	174
6. Règles TH-S pour les ponts thermiques	177

6.1 Ponts thermiques de liaison au droit d'une surface plane	177
6.2 Ponts thermiques de liaison au droit d'un débord	178
6.3 Ponts thermiques de liaison en angle rentrant	179
6.4 Parois et ponts thermiques enterrés	179
ANNEXE : PRISE EN COMPTE DE LA PARTIE OUVERTE DE LA BAIE	181
C Règles ThL	184
1. Préambule et contexte	184
2. Définitions et phénomènes mis en jeu	185
2.1 Généralités	185
2.2 Définition des termes associés aux composants et à l'ouvrage	188
3. Nomenclature	191
4. Données d'entrée des règles Th-L	194
4.1 Panorama normatif	194
4.2 L'apport des règles TH-L	195
4.3 Données d'entrée et de sortie des règles TH-L	196
5. Détermination du facteur de transmission lumineuse pour les cas courants	198
5.1 Formules générales	199
5.1.1 Paroi transparente ou translucide sans protection rapportée en place	199
5.1.2 Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées en place	200
5.1.3 Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée à lames inclinées en place	201
5.2 Coefficients de correction	202
5.2.1 Distinction entre éclairements direct du soleil et diffus du ciel et du sol	202
5.2.2 Prise en compte de l'intégration à l'ouvrage	202
5.2.3 Impact de l'angle d'incidence variable	211
6. Application de la méthode pour le cas particulier des lanterneaux à base de polycarbonate multi-alvéolaire	212

6.1 Plaque de polycarbonate seule	212
6.2 Ensemble du lanterneau	212
6.2.1 Formules d'application	212
6.2.2 Prise en compte de la costière du lanterneau	214
6.2.3 Prise en compte de l'incidence variable sur le polycarbonate	214
6.2.4 Prise en compte de la forme du lanterneau	215
ANNEXE : PRISE EN COMPTE DE LA PARTIE OUVERTE DE LA BAIE	216
D Règles ThI	219
1. LE CADRE GENERAL	219
2. LA DEMARCHE	220
2.1. Définitions	221
2.2. Détermination forfaitaire de la classe d'inertie	222
2.3. Détermination de la classe d'inertie par « point d'inertie »	224
2.3.1 Détermination des points d'inertie des parois courantes	226
2.3.2 Détermination des points d'inertie d'une paroi à partir de sa capacité thermique et de sa surface	232
ANNEXES	234
Annexe 1 : Détermination de l'inertie quotidienne par le calcul	235
Annexe 2 : Détermination de l'inertie séquentielle	236
Annexe 3 : L'inertie dans les méthodes d'application des réglementations thermiques	241
Annexe 4 : Hypothèses complémentaires à la norme NF EN ISO 13786	243

A Règles ThU

A1 Généralités

1 – Introduction aux règles Th-U

1.1 – Objet

Les règles Th-U ont pour objet la détermination des caractéristiques thermiques utiles des éléments de construction, c'est à dire les caractéristiques représentatives du comportement de ces éléments (matériaux, produits, procédés) dans l'ouvrage. Les caractéristiques thermiques utiles servent comme données d'entrée au calcul des transferts de chaleur par transmission à travers l'enveloppe, notamment pour l'application des réglementations thermiques en vigueur.

1.2 – Contenu

Les règles Th-U comportent cinq chapitres :

– Chapitre A1 "Généralités"

Ce chapitre est commun aux quatre autres chapitres. Il définit les caractéristiques thermiques utiles des parois et ponts thermiques, servant au calcul des performances énergétiques du bâtiment. Il donne également les définitions, les grandeurs physiques, les conventions et les unités utilisées.

– Chapitre A2 "Matériaux"

Ce chapitre donne les caractéristiques thermiques utiles des matériaux (conductivité thermique, capacité thermique massique et facteur de résistance à la vapeur d'eau).

– Chapitre A3 "Parois vitrées"

Ce chapitre décrit le principe de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois vitrées

– Chapitre A4 "Parois opaques"

Ce chapitre décrit le principe de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois opaques et des lames d'air.

– Chapitre A5 "Ponts thermiques"

Ce chapitre décrit le principe de calcul des ponts thermiques.

1.3 – Références normatives

Le calcul des caractéristiques thermiques des éléments d'enveloppe du bâtiment, s'appuie principalement sur les travaux de la normalisation européenne.

NF EN ISO 7345 Isolation thermique – Grandeurs physiques et définitions

- EN ISO 13789** Performance thermique des bâtiments – Coefficient de déperdition par transmission – Méthode de calcul.
- NF EN ISO 10456** Isolation thermique – Matériaux et produits pour le bâtiment – Détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles.
- 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 1 : Méthode numérique pour profilés de menuiserie.
- NF EN ISO 12631** Performance thermique des façades-rideaux - Calcul du coefficient de transmission thermique.
- NF EN 673** Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – 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 6946** Composants et parois de bâtiments – Résistance thermique et coefficient de transmission thermique – Méthode de calcul
- NF EN ISO 13370** Performance thermique des bâtiments - Transfert de chaleur par le sol - Méthodes de calcul.
- NF EN ISO 10211** Ponts thermiques dans le bâtiment - Flux de chaleur et températures superficielles – Calculs détaillés.
- ISO 8302** Isolation thermique – Détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire – Méthode de la plaque chaude gardée.
- ISO 12567** Isolation thermique des portes et fenêtres – Détermination de la transmission thermique par la méthode de la boîte chaude.
- EN 674** Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode de l’anneau de garde.
- EN 675** Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode du fluxmètre.
- NF EN 12412-2** Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures – Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude – Partie 2 : encadrements.
-

NF EN 12412-4	Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures. Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude. Partie 4 : Coffres de volets roulants.
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.

1.4 – Définitions, symboles et indices

1.4.1 - Définitions

Dans le présent document, les définitions données aux chapitres A2 à A5, les définitions de la norme NF EN ISO 7345 et les définitions suivantes s'appliquent :

- **Local** : Un local est un volume totalement séparé de l'extérieur ou d'autres volumes par des parois fixes ou mobiles.

- **Baie** : Une baie est une ouverture ménagée dans une paroi extérieure et destinée à recevoir une paroi comportant des parties transparentes ou translucides, servant à l'éclairage, le passage ou l'aération.

- **Espace chauffé** : Local ou volume fermé chauffé à une température supérieure à 12 °C en période d'occupation.

- **Dimensions intérieures** : Dimensions mesurées de l'intérieur des locaux (voir I.5.5)

- **Paroi opaque isolée** : Paroi opaque dont le coefficient de transmission thermique U n'excède pas $0.5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

- **Paroi transparente ou translucide** : Paroi dont le facteur de transmission lumineux (hors protection mobile éventuelle) est égal ou supérieur à 0.05. Dans le cas contraire elle est dite opaque.

- **Paroi verticale ou horizontale** : Une paroi est dite verticale lorsque l'angle de cette paroi avec le plan horizontal est supérieur ou égal à 60 degrés, elle est dite horizontale lorsque cet angle est inférieur à 60 degrés.

- **Liaisons périphériques** : Liaisons situées au pourtour d'une paroi donnée.

- **Liaisons intermédiaires** : Liaisons situées à l'intérieur du pourtour d'une paroi donnée.

- **Flux thermique ϕ en W** : Quantité de chaleur transmise à (ou fournie par) un système, divisée par le temps.

- **Conductivité thermique λ , en $W/(m.K)$** : Flux thermique par mètre carré, traversant un mètre d'épaisseur de matériau pour une différence de température d'un kelvin entre les deux faces de ce matériau.
 - **Coefficient de déperdition par transmission H , en W/K** : Flux thermique cédé par transmission entre l'espace chauffé et l'extérieur, pour une différence de température d'un kelvin entre les deux ambiances. Les températures intérieure et extérieure, sont supposées uniformes.
 - **Coefficient de transmission thermique surfacique U , en $W/(m^2.K)$** : Flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température d'un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système.
 - **Coefficient de transmission thermique linéique ψ , en $W/(m.K)$** : Flux thermique en régime stationnaire par unité de longueur, pour une différence de température d'un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système.
 - **Coefficient de transmission thermique ponctuel χ , en W/K** : Flux thermique en régime stationnaire ramené à un point, pour une différence de température d'un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système.
 - **Coefficient de transmission thermique surfacique "équivalent" d'une paroi U_e , en $W/(m^2.K)$** : Coefficient de transmission surfacique tenant compte à la fois des caractéristiques intrinsèques de la paroi et de son environnement (sol, vide sanitaire, sous-sol non chauffé ...)
 - **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 d'un kelvin entre les deux faces de ce système.
 - **Résistance thermique 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 d'un kelvin entre celles-ci.
 - **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 entièrement située en avant d'un nez de plancher.
 - **Pont thermique intégré** : Élément intégré dans la paroi, donnant lieu à des déperditions thermiques supplémentaires.
 - **Plancher bas** : Paroi horizontale ($\alpha < 60^\circ$) donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face supérieure (voir figure 1).
 - **Plancher intermédiaire** : Paroi horizontale ($\alpha < 60^\circ$) donnant, sur ses faces inférieures et supérieures, sur des locaux chauffés (voir figure 1).
 - **Plancher haut** : Paroi horizontale ($\alpha < 60^\circ$) donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face inférieure (voir figure 1).
 - **Caractéristique thermique** : Propriété relative à la transmission de la chaleur, servant directement ou indirectement au calcul des transferts de chaleur par transmission à travers l'enveloppe du bâtiment. On cite notamment : la conductivité thermique (λ), la résistance thermique (R), le coefficient de transmission surfacique (U), linéique (ψ) ou ponctuel (χ).
-

- 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 Document 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 rencontrées dans le bâtiment.

- Valeur thermique par défaut ou valeur thermique tabulée : valeur forfaitaire à utiliser comme caractéristique thermique utile, en absence de valeurs déclarées et sans justification particulière.

- Avis Technique et Document Technique d'Application: on entend par Avis Technique et Document Technique d'Application tout avis formule conformément à l'arrêté du 21 mars 2012 relatif à la commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application sur des procédés matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction, délivré en vue d'établir l'aptitude à l'emploi des procédés, matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

- Certification : On entend par certification toute activité par laquelle un organisme tierce partie accrédité COFRAC ou un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux couvrant l'activité de certification, atteste qu'un produit, un service ou une combinaison de produits et de services est conforme à des caractéristiques décrites dans un référentiel de certification **reconnu par tous les acteurs et rendu public**. En France, la certification est régie par les articles L115-27 à L 115-33 et R. 115-1 à R. 115-3 du code de la consommation

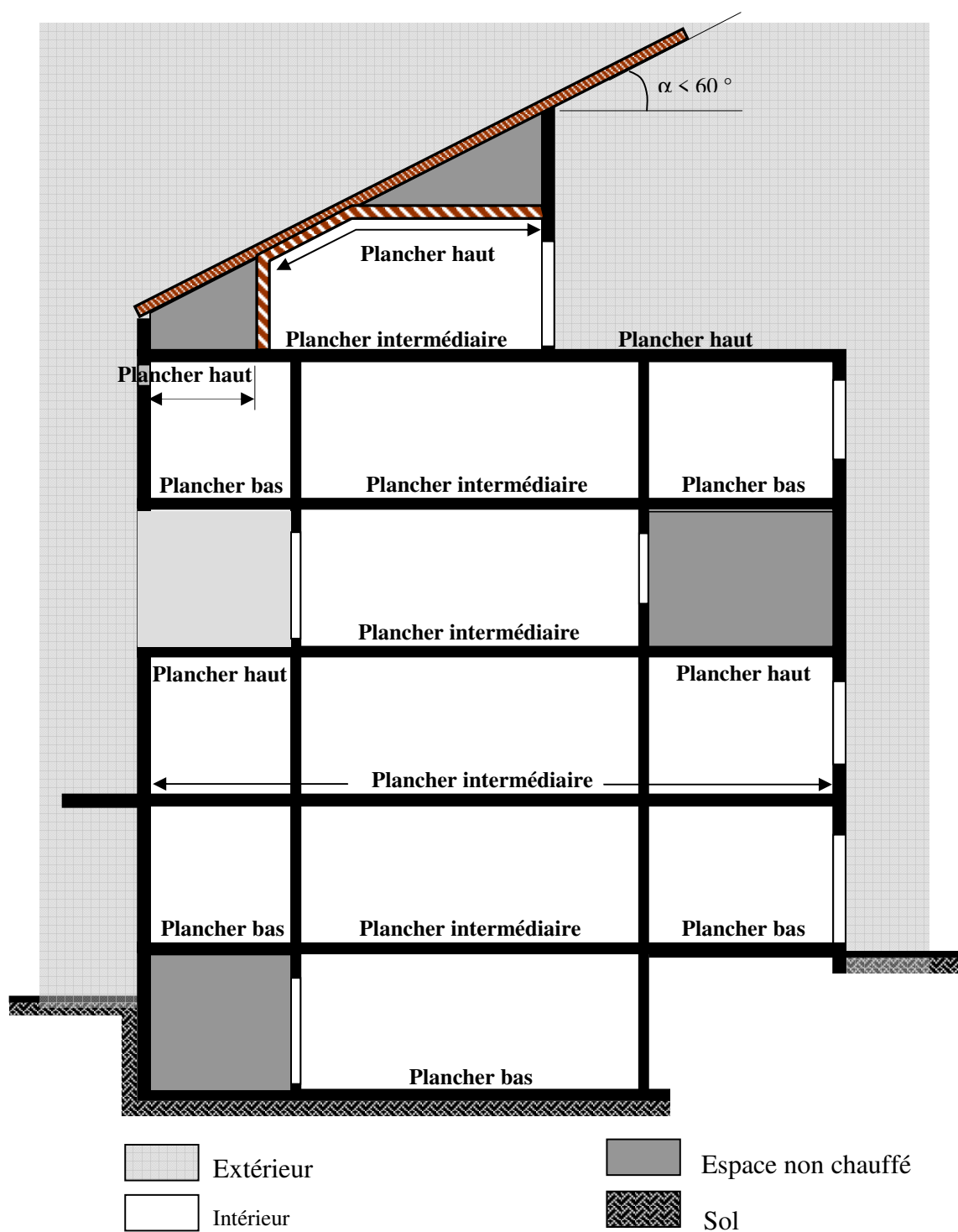


Figure 1 : planchers bas, intermédiaires et hauts

1.4.2 – Symboles

Symbole	Grandeur	Unité
U	Coefficient de transmission thermique surfacique	W/(m ² .K)
ψ	Coefficient de transmission thermique linéique	W/(m.K)
χ	Coefficient de transmission thermique ponctuel	W/K
R	Résistance thermique	m ² .K/W
A	Surface	m ²
l, L		m
	Longueur, largeur, linéaire	
H	Coefficient de déperdition par transmission	W/K
T	Température	K
b	Coefficient de réduction de la température	-
D	Coefficient de déperdition	W/K
Q	Débit d'air entrant	m ³ /h
q	Débit d'air entrant par mètre carré de paroi	(m ³ /h)/m ²
SH	Surface habitable	m ²

1.4.3 – Indices

e	Extérieur, équivalent
i	Intérieur
s	Superficiel
T, t	Total
D	Direct
S	Sol
U, u	Non chauffé
iu	Intérieur vers local non chauffé
ue	Local non chauffé vers extérieur
V	Par renouvellement d'air

1.5 – Conventions

1.5.1 – Température et humidité des matériaux

Les conductivités thermiques des matériaux et les caractéristiques thermiques des éléments de construction sont définies pour une température moyenne de 10°C.

Les conventions d'humidité des matériaux sont définies chapitre A2 "matériaux".

1.5.2 – Résistances thermiques superficielles

En absence d'informations spécifiques sur les conditions aux limites des surfaces planes, les résistances thermiques superficielles, intérieures (R_{si}) et extérieures (R_{se}), suivantes doivent être utilisées :

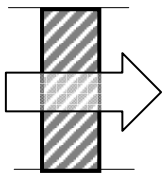
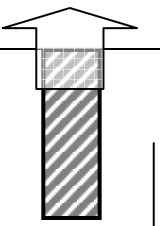
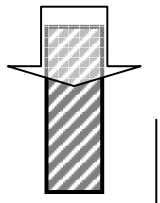
Paroi donnant sur : - l'extérieur - un passage ouvert - un local ouvert ⁽²⁾	R_{si} $m^2.K/W$	$R_{se}^{(1)}$ $m^2.K/W$	$R_{si} + R_{se}$ $m^2.K/W$
Paroi verticale (Inclinaison $\geq 60^\circ$)  Flux horizontal	0.13	0.04	0.17
 Flux ascendant	0.10	0.04	0.14
Paroi Horizontale ($\alpha < 60^\circ$) (Inclinaison $< 60^\circ$)  Flux descendant	0.17	0.04	0.21

Tableau I - Valeurs par défaut des résistances thermiques superficielles

⁽¹⁾ Si la paroi donne sur un autre local non chauffé, un comble ou un vide sanitaire, R_{si} s'applique des deux côtés

Pour plus de précisions sur les résistances superficielles, se reporter au chapitre A4 "Parois opaques".

⁽²⁾ Un local est dit ouvert si le rapport de la surface totale de ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à $0.005 m^2/m^3$. Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.

1.5.3 - Parois déperditives

Les parois déperditives à prendre en compte pour les calculs sont les parois opaques, vitrées ou translucides séparant le volume chauffé du bâtiment :

- de l'extérieur,
- du sol,
- des locaux non chauffés.

Ne sont pas prises en compte pour le calcul des déperditions (voir figure 2) :

- 1 les parois isolées ($U \leq 0.5 \text{ W/m}^2\text{.K}$) des locaux chauffés donnant sur des volumes intérieurs (*).
- 2 les parois et les portes d'accès des cages d'ascenseurs donnant sur des locaux chauffés ou considérés comme tels, lorsque les parois verticales lourdes de ces cages d'ascenseurs sont isolées.
- 3 les portes d'accès aux locaux commerciaux, aux locaux recevant du public, et aux volumes intérieurs

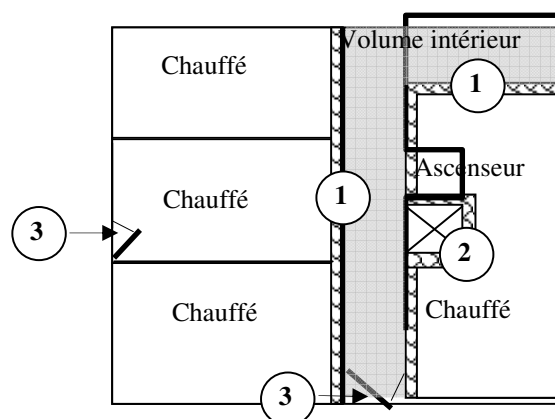


Figure 2 – Parois non prises en compte pour le calcul de $U_{bât}$

(*) Un 'volume intérieur', est un local horizontal ou vertical, dépourvu de parois donnant sur l'extérieur à l'exception de celles ayant le même niveau d'isolation que les parois de même type du bâtiment (1) et dont le linéaire donnant sur l'extérieur ou sur des locaux non chauffés (c+d) est inférieure à celui donnant sur des locaux chauffés (a+b) (voir figure 3).

- *Sont considérés comme chauffés, les 'volumes intérieurs' qui ne possèdent pas d'ouvertures permanentes sur l'extérieur (trappe, gaine de désenfumage) et dont les accès vers l'extérieur et vers des locaux non chauffés ou à occupation discontinue sont respectivement munis de sas et de dispositifs de fermeture automatique.*
- *Sont considérés comme non chauffés, les 'volumes intérieurs' ne répondant pas au moins à une des conditions ci-dessus.*

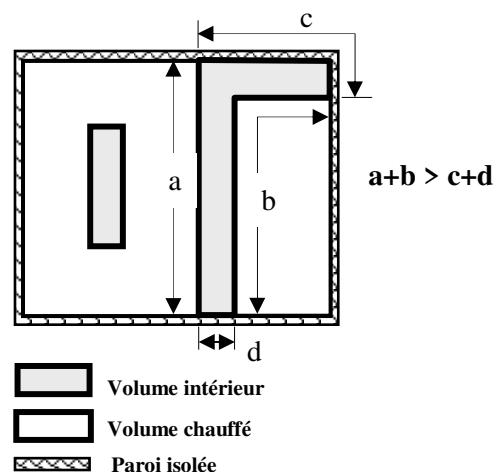


Figure 3 – volumes intérieurs

(1) les baies vitrées ne respectant pas cette exigence ne doivent pas dépasser 8 % de la surface totale des parois du volume intérieur' donnant sur l'extérieur

L'organigramme de la figure 4 ci-après, explique la démarche à suivre pour la détermination des parois séparatrices à prendre en compte pour le calcul des déperditions par transmission.

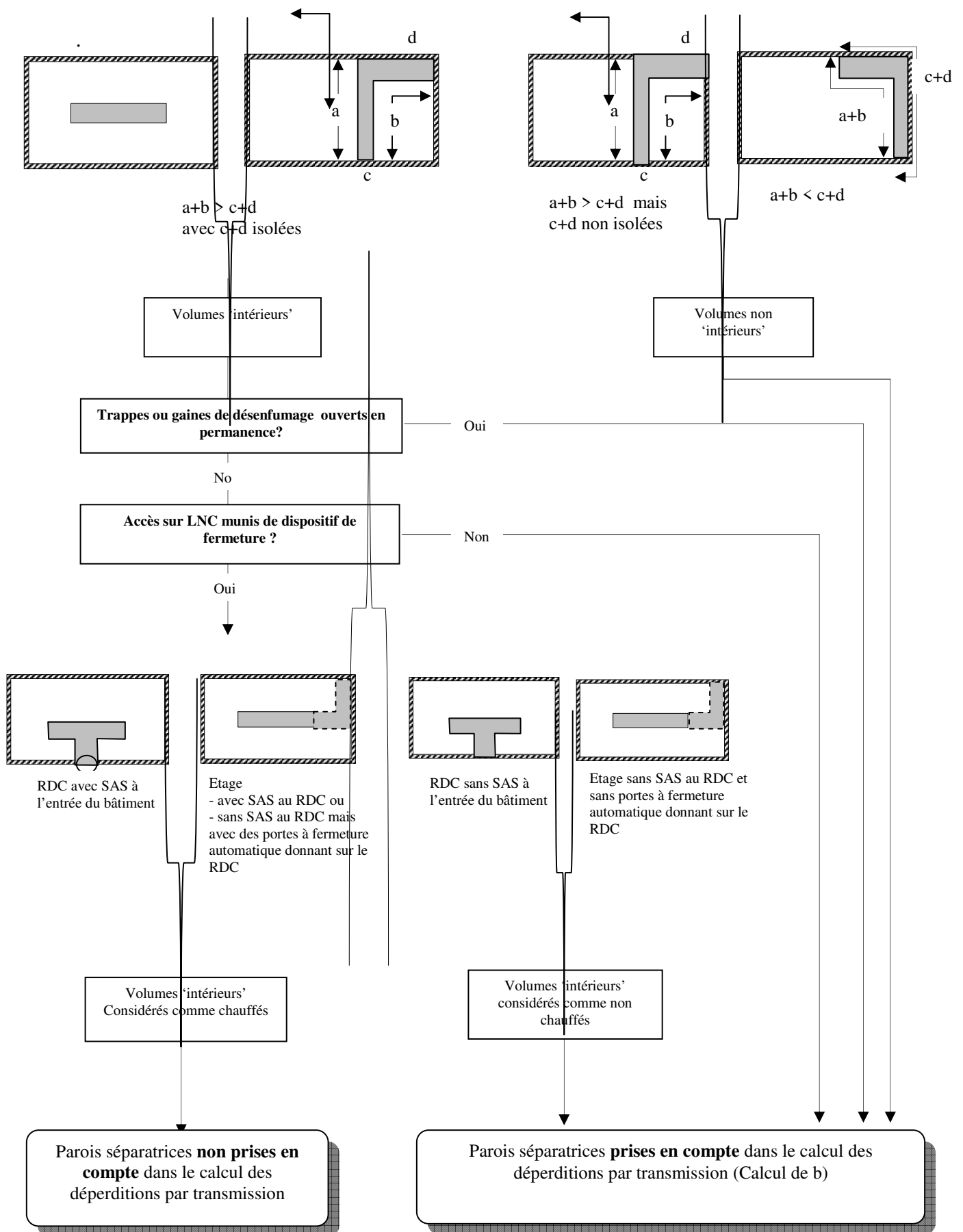


Figure 4 – Prise en compte des volumes intérieurs

1.5.4 – Ponts thermiques des liaisons

Les coefficients de transmission linéiques des ponts thermiques des liaisons, inférieurs à 0.03 W/(m.K) peuvent être négligés. Cette convention ne s'applique pas aux ponts thermiques intégrés.

1.5.5 – Dimensions

Seules les dimensions intérieures doivent être utilisées pour le calcul des déperditions :

Ne sont prises en compte que les parties des parois ayant deux faces, l'une intérieure et l'autre, soit extérieure soit dans un local non chauffé, soit en contact avec le sol, en regard l'une de l'autre.

En cas de décrochements ou des angles rentrants, ou des baies, les dimensions doivent être mesurées comme le montre la figure 5 :

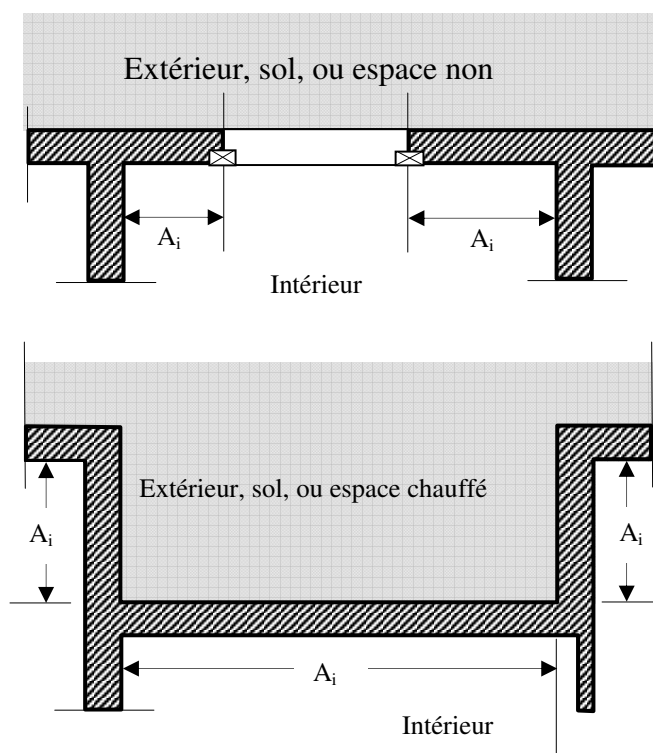


Figure 5 : Cas des décrochements, angles rentrants, baies

On ne tient pas compte des cloisons légères verticales qui n'altèrent pas la résistance thermique des parois de l'enveloppe (voir figure 6).

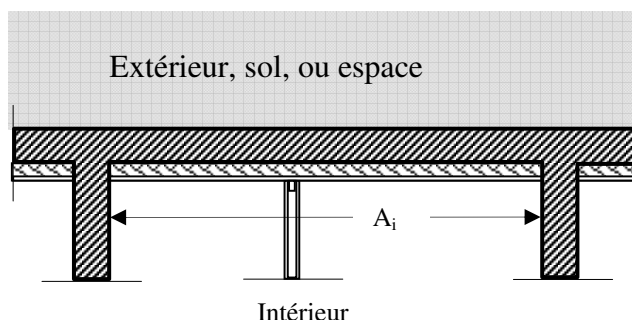


Figure 6 : Cas des cloisons légères verticales

En cas des planchers bas en liaison avec un refend et/ou une poutre à retombée les dimensions doivent être mesurées comme le montre la figure 7 :

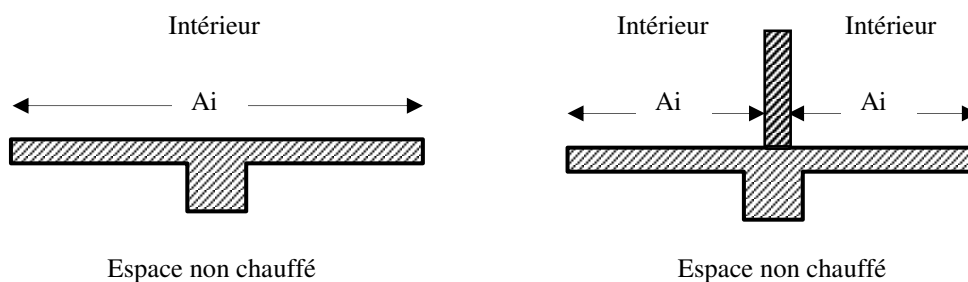


Figure 7 : Cas des planchers bas / refends

La dimension intérieure d'une paroi verticale doit inclure les épaisseurs des aménagements intérieurs (faux plafond, plancher technique, ..), si la résistance thermique de la paroi est conservée dans la partie aménagée. Sinon la dimension intérieure doit s'arrêter au niveau des aménagements.

2 – Caractéristiques thermiques utiles

Elles sont déterminées d'après les chapitres A3, A4 et A5 des règles Th-U (voir tableau ci-après).

Les conductivités thermiques utiles des matériaux et produits, nécessaires au calcul des coefficients de transmission surfaciques et linéiques sont déterminées d'après le chapitre A2.

Les coefficients de transmission thermique des parois non listées dans le tableau ci-après sont donnés dans les documents d'Avis Techniques correspondants.

Caractéristique thermique utile	Description	Déterminé d'après le chapitre °
U_e	Coefficient de transmission surfacique des parois opaques en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire, ou sur un sous sol non chauffé.	A4
U_p	Coefficient de transmission surfacique des parois opaques autres que celles définies pour U_e .	A4
U_w	Coefficient de transmission surfacique des fenêtres verticales, des lanterneaux, des fenêtres de toit, des portes-fenêtres non équipées de fermetures, des briques de verre et des vitrines.	A3
U_d	Coefficient de transmission surfacique des portes d'entrée.	A3
U_{ws}	Coefficient de transmission surfacique des fenêtres, des portes et des portes-fenêtres équipées de fermetures, de stores extérieurs, intérieurs ou entre vitrages.	A3
U_c	Coefficient de transmission surfacique des coffres de volets roulant intégrés dans la baie. Pour les autres configurations de mise en œuvre, on détermine un coefficient U_p de la paroi opaque intégrant le coffre (voir chapitre A3)	A3
$U_{cw, tot}$	Coefficient de transmission surfacique des façades rideaux et des façades panneaux.	A3
$U_{bb,ws}$ $U_{bb,w}$	Coefficients de transmission surfacique des blocs-baies avec et sans fermeture déployée.	A3
ψ	Coefficient de transmission linéique des ponts thermiques des liaisons 2D.	A5
χ	Coefficient de transmission ponctuel des ponts thermiques des liaisons 3D.	A5

Tableau 2 - Détermination des caractéristiques thermiques utiles d'après les règles Th-U

3 - Coefficient de réduction des déperditions (b)

Le coefficient de réduction des déperditions permet de tenir compte de l'écart de température entre un local non chauffé et l'extérieur, et ceci lors du calcul des déperditions thermiques par transmission.

Le coefficient b relatif à un local non chauffé quelconque, se calcule par la formule suivante :

$$b = \frac{D_{ue}}{D_{ue} + D_{iu}} \quad (2)$$

où

D_{ue} est le coefficient de déperdition du local non chauffé vers l'extérieur, en W/K.

D_{iu} est le coefficient de déperdition du volume chauffé vers le local non chauffé, en W/K.

D_{ue} et D_{iu} tiennent compte des déperditions par transmission et par renouvellement d'air, ils se calculent par :

$$D_{ue} = H_{ue} + D_{V, ue} \quad \text{et} \quad D_{iu} = H_{iu} + D_{V, iu} \quad (3)$$

Avec :

$$D_{V, ue} = 0.33 Q_{ue} \quad \text{et} \quad D_{V, iu} = 0.33 Q_{iu} \quad (4)$$

Q_{ue} est le débit d'air entrant dans le local non chauffé en provenance de l'extérieur, en m³/h.

Q_{iu} est le débit d'air entrant dans le local non chauffé en provenance du volume chauffé. Ce débit est généralement nul, $Q_{iu} = 0.0$ m³/h

$D_{V, ue}$ peut également s'écrire sous la forme :

$$\text{où : } D_{V, ue} = U_{V, ue} A_{ue} \quad (5)$$

A_{ue} est la surface totale des composants séparant le local non chauffé de l'extérieur ou d'un autre local non chauffé, en m².

$U_{V, ue}$ est l'équivalent d'un coefficient surfacique de la paroi située entre le local non chauffé et l'extérieur ou un autre local non chauffé, en W/(m².K).

Il représente les déperditions par renouvellement d'air du local non chauffé, ramenées à l'unité de surface de la paroi :

$$U_{V, ue} = 0.33 q_{ue} \quad \text{où } q_{ue} \text{ est le débit d'air par mètre carré de paroi, exprimé en (m}^3\text{/h)/m}^2$$

Note : Le chapitre A4 "parois opaques" donne des méthodes approximatives pour la prise en compte des déperditions à travers certains locaux non chauffés particuliers où les espaces d'air sont représentés comme une couche d'air thermiquement homogène de résistance thermique additionnelle R_u donnée ou exprimée par des formules simples

A2 Matériaux

1. Introduction

Ce chapitre permet la détermination des **valeurs thermiques utiles** des matériaux d'application générale dans le bâtiment à utiliser dans les calculs réglementaires pour la détermination des performances énergétiques du bâtiment.

La détermination de la valeur thermique utile est faite en fonction de la valeur thermique déclarée.

A défaut de pouvoir justifier une valeur selon les modalités ci-dessus, les valeurs thermiques utiles sont prises égales aux valeurs par défaut données dans le présent chapitre en fonction de leur masse volumique sèche :

- conductivité thermique utile ;
- capacité thermique massique ;
- facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau.

Pour certaines familles de matériaux, plusieurs valeurs de conductivités thermiques utiles sont données en fonction de la masse volumique du matériau. Faute de connaître cette dernière, on adoptera la plus élevée des valeurs de conductivités thermiques utiles indiquées pour la famille considérée.

Les facteurs de résistance à la vapeur d'eau sont donnés en tant que valeurs en coupelle sèche et coupelle humide (cf. norme NF EN ISO 12572).

Nota : les valeurs et méthodes de détermination correspondent aux produits utilisés dans l'enveloppe des bâtiments et non aux équipements de ces bâtiments.

1.1 Références normatives

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 12667 Performances thermiques des matériaux et produits pour le bâtiment. Détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique. Produits de haute et moyenne résistance thermique.

NF EN ISO 8990 Isolation thermique – Détermination des propriétés de transmission thermique en régime stationnaire – Méthodes à la boîte chaude gardée et calibrée.

NF EN ISO 7345 Isolation thermique – Grandeurs physiques et définitions.

NF EN ISO 9346 Performance hygrothermique des bâtiments et des matériaux pour le bâtiment – Grandeurs physiques pour le transfert de masse – Vocabulaire.

NF EN ISO 10456 Matériaux et produits pour le bâtiment – Propriétés hygrothermiques – Valeurs utiles tabulées et procédures pour la détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles.

1.2 Termes et définitions, symboles et unités

1.2.1 Symboles et unités

Masse volumique sèche ρ (en kg/m^3) : quotient de la masse d'un matériau apparente, à l'état sec ⁽¹⁾ conventionnel, par son volume.

Conductivité thermique λ (en W/(m.K)) : flux de chaleur, par mètre carré, traversant un mètre d'épaisseur de matériau pour une différence de température de un degré entre les deux faces de ce matériau.

Capacité thermique massique C_p (en J/(kg.K)) : quantité de chaleur nécessaire pour augmenter la température de un degré d'un kilogramme d'un matériau.

Facteur de la résistance à la diffusion de vapeur d'eau μ : rapport de la perméabilité à la vapeur d'eau de l'air sur celle du matériau.

1.2.2 Définitions

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 Document 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 rencontrées dans le bâtiment.

Caractéristique thermique par défaut ou caractéristique thermique tabulée : valeur forfaitaire à utiliser comme caractéristique thermique utile, en absence de valeurs déclarées et sans justification particulière.

Avis Technique et Document Technique d'Application: on entend par Avis Technique et Document Technique d'Application tout avis formule conformément à l'arrêté du 21 mars 2012 relatif à la commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application sur des procédés matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction, délivré en vue d'établir l'aptitude à l'emploi des procédés, matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Evaluation Technique Européenne (ETE): appréciation technique favorable de l'aptitude d'un produit à l'usage prévu, fondé sur la satisfaction des exigences fondamentales prévues pour les ouvrages dans lesquels le produit doit être utilisé (Règlement (UE) No 305/2011). Il est délivré par un Organisme d'Evaluation Technique (OET) membre de l'EOTA (European organisation for Technical Approvals), habilité et désigné par son Etat membre.

Certification : On entend par certification toute activité par laquelle un organisme tierce partie accrédité COFRAC ou un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux couvrant l'activité de certification, atteste qu'un produit, un service ou une combinaison de produits et de services est conforme à des caractéristiques décrites dans un référentiel de certification **reconnu par tous les acteurs et rendu public**. En France la certification est régie par les articles L115-27 à L 115-33 et R. 115-1 à R. 115-3 du code de la consommation

1.3 Caractéristiques thermiques

1.3.1 Cas général

Les caractéristiques thermiques utiles (λ_u ou R_u) des matériaux et produits de construction, à utiliser pour le calcul des caractéristiques thermiques des parois et ponts thermiques des bâtiments, sont déterminées en fonction des caractéristiques thermiques déclarées (λ_d , R_d) :

$$\lambda_u = \lambda_d \times (F_T \times F_m \times F_R) \text{ et } R_u = R_d / (F_T \times F_m \times F_R) ;$$

Les caractéristiques thermiques figurant dans des documents d'Avis Techniques ou dans les Documents Techniques d'Application sont considérées comme des valeurs utiles.

À défaut de pouvoir justifier une valeur selon les modalités ci-dessus, les caractéristiques thermiques utiles (λ_u ou R_u) sont prises égales aux valeurs par défaut données dans les règles Th-Bât.

F_T , F_m , et F_R sont des facteurs permettant de convertir les valeurs déclarées, certifiées ou tabulées en valeurs utiles. Ils sont définis ci-dessous :

- F_T , facteur de conversion lié à la température moyenne du matériau en œuvre. Pour les applications courantes, F_T peut être pris égal à 1. Pour les applications particulières où la température moyenne du matériau en œuvre est sensiblement différente de 10 °C, F_T doit être déterminé conformément à la norme NF EN ISO 10456⁽²⁾ ;
- F_m , facteur de conversion lié à la teneur en humidité moyenne du matériau en œuvre. Pour les applications courantes, F_m peut être pris égal à 1. Pour les applications particulières où la teneur d'humidité du matériau est connue être sensiblement différente de la valeur conventionnelle donnée dans la norme « produit » correspondante, F_m doit être déterminé conformément à la norme NF EN ISO 10456. Les valeurs thermiques données dans les documents d'Avis Technique ou dans les Documents Techniques d'Application ou dans les certificats associés à la marque « NF » tiennent compte de l'effet de l'humidité en œuvre du matériau (prendre $F_m = 1$) ;
- F_R , coefficient de sécurité qui tient compte de la représentativité de la valeur déclarée, de l'ensemble de la production à l'usine. F_R est déterminé d'après le *tableau I* selon l'origine de la valeur thermique déclarée :

Tableau I : Coefficient de sécurité F_R selon l'origine de la valeur déclarée

F_R	
Marquage « CE » système 1+(*) ou niveau équivalent	Marquage « CE » autres systèmes(*)
1	1,15
(*) On entend par système n de marquage « CE », le niveau n de l'évaluation et de la vérification de la constance de la performance thermique d'un produit.	

2. À défaut de calculs conformément à la norme citée, en France métropolitaine, le secteur des bâtiments à usages d'habitation et bâtiments non résidentiels est considéré correspondre aux applications courantes.

REMARQUE 1

Les conditions conventionnelles de température et d'humidité qui ont servi à la détermination des valeurs déclarées et/ou certifiées sont données dans les normes « produits » correspondantes.

Les conditions conventionnelles de température et d'humidité qui ont servi à la détermination des valeurs tabulées dans le présent chapitre sont les suivantes :

- convention de température, les conductivités thermiques des matériaux sont définies pour une température moyenne de 10 °C ;
- convention d'humidité, le taux d'humidité conventionnel pour chaque matériau est défini selon la norme NF EN ISO 10456.

Pour les matériaux dont l'utilisation les met à l'abri de la pluie et de la condensation, le taux d'humidité conventionnel, sauf contre-indication en cas particuliers, est le taux d'humidité d'équilibre de ce matériau dans une ambiance à 23 °C et 50 % d'humidité relative. Ce taux d'humidité conventionnel est déterminé par séchage du matériau stabilisé à 23 °C et 50 % d'humidité relative jusqu'à masse constante. Le séchage du matériau est réalisé en étuve régulée à 70 °C $\pm$ 5 °C avec de l'air pris dans une ambiance à 23 °C $\pm$ 2 °C et 50 % $\pm$ 5 % d'humidité relative. Les valeurs tabulées de la conductivité thermique tiennent également compte des dispersions de fabrication.

Il découle des conventions précédentes que les valeurs tabulées de la conductivité thermique :

- des matériaux non hygroscopiques ou ne contenant pas d'eau de fabrication sont les valeurs de leur conductivité à l'état sec, à 10 °C ;
- des matériaux hygroscopiques ou conservant de l'eau de fabrication résultent de l'application aux valeurs de leur conductivité à l'état sec, à 10 °C, d'un coefficient correcteur fixé par produit ;
- des matériaux contenant des gaz occlus autres que l'air sont des valeurs de leur conductivité thermique à l'état sec à 10 °C, après vieillissement fixé pour chaque produit.

REMARQUE 2

Les valeurs tabulées données dans le présent document priment toujours sur celles figurant dans des procès-verbaux de mesure ou dans des normes (*).

Pour ce qui concerne les procès-verbaux de mesure, il est à observer que :

- les résultats de plusieurs mesures faites sur un même matériau présentent une dispersion sur les valeurs obtenues ;
- pour évaluer la dispersion des caractéristiques physiques d'un matériau, il est nécessaire d'effectuer plusieurs mesures sur des échantillons choisis de façon aléatoire dans le temps et dans l'espace (position de l'échantillon vis-à-vis de l'ensemble d'une production à un jour donné) ;
- il peut être difficile de déterminer les caractéristiques d'un matériau ou d'une paroi dans les conditions d'humidité utile, le résultat de mesure doit alors être corrigé en appliquant un facteur de conversion ;
- les caractéristiques thermiques de certains matériaux peuvent varier dans le temps, du fait par exemple de la diffusion d'un gaz occlus dans les cellules, il est alors nécessaire d'effectuer des essais de vieillissement appropriés.

Par ailleurs, une étude comparative a été menée au niveau européen et les résultats de mesures *f* ont montré des dispersions de $\pm$ 5 % sur les valeurs obtenues.

Pour ces diverses raisons, les valeurs tabulées données dans le présent document ont été fixées en s'appuyant sur de nombreuses mesures et en examinant avec soin comment celles-ci ont été faites et sur quels échantillons.

Des différences entre les valeurs données dans le présent document et celles figurant dans certaines normes peuvent s'expliquer du fait que ces dernières ne visent pas exclusivement l'emploi des matériaux dans des parois de bâtiment ; les conditions, notamment de température et d'humidité, auxquelles correspondent les caractéristiques thermiques figurant dans les normes, peuvent être différentes de celles auxquelles correspondent les valeurs données dans le présent document.

(*) Il s'agit dans ce cas de valeurs non certifiées par le CSTB, ou par un organisme mandaté par l'AFNOR.

1.3.2 Produits réfléchissants opaques

Les performances thermiques intrinsèques des produits réfléchissants opaques sont données soit dans un document d'Evaluation Technique Européenne, soit dans un Avis Technique ou équivalent, ou si un tel Avis ou Evaluation n'existe pas, par des valeurs par défaut.

1.3.3 Cas particulier du sol

La conductivité thermique du sol doit être prise égale à :

- la valeur réelle du site lorsqu'elle est connue. Cette valeur doit être moyennée sur une profondeur égale à la largeur du bâtiment en tenant compte de la teneur normale en eau ;
- la valeur correspondante tirée du *tableau II* si la valeur réelle n'est pas connue ;
- 2,0 W/(m.K) en absence de toute autre information.

Tableau II : Conductivité thermique λ

Description	Conductivité thermique λ W/(m.K)
Argile ou limon	1,5
Sable ou gravier	2,0
Roche homogène	3,5

1.3. Maçonneries

Pour la détermination des caractéristiques thermiques utiles des éléments de parois constitués à partir des blocs de maçonnerie, de béton cellulaire, briques de terre cuite, entrevous, etc., se reporter au chapitre A4 « Parois opaques ».

2. Valeurs par défaut

2.1 Pierres

Les conductivités thermiques données dans ce paragraphe sont en fait des conductivités thermiques équivalentes tenant compte des joints.

2.1.1 Roches plutoniques et métamorphiques

Matériaux ou application	Masse volumique sèche (ρ) en kg/m ³	Conductivité thermique utile (λ) en W/(m.K)	Capacité thermique massique (C_p) en J/(kg.K)	Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau (μ)	
				Sec	Humide
Gneiss, porphyres	$2\,300 \leq \rho \leq 2\,900$	3,5	1 000	10 000	10 000
Granites	$2\,500 \leq \rho \leq 2\,700$	2,8	1 000	10 000	10 000
Schistes, ardoises	$2\,000 \leq \rho \leq 2\,800$	2,2 (*)	1 000	1 000	800
* Il s'agit de la conductivité correspondant à l'utilisation de ces matériaux en murs, c'est-à-dire pour un flux de chaleur parallèle aux strates.					

2.1.2 Roches volcaniques

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Basaltes	$2\,700 \leq \rho \leq 3\,000$	1,6	1 000	10 000	10 000
Trachytes, andésites	$2\,000 \leq \rho \leq 2\,700$	1,1	1 000	20	15
Pierres naturelles poreuses (ex.: laves)	$\rho \leq 1\,600$	0,55	1 000	20	15

2.1.3 Pierres calcaires

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Marbres	$2\,600 \leq \rho \leq 2\,800$	3,5	1 000	10 000	10 000
Pierres froides ou extra-dures	$2\,200 \leq \rho \leq 2\,590$	2,3	1 000	250	200
Pierres dures	$2\,000 \leq \rho \leq 2\,190$	1,7	1 000	200	150
Pierres fermes, demi-fermes	$1\,800 \leq \rho \leq 1\,990$	1,4	1 000	50	40
Pierres tendres n° 2 et 3	$1\,600 \leq \rho \leq 1\,790$	1,1	1 000	40	25
Pierres très tendres	$\rho \leq 1\,590$	0,85	1 000	30	20

2.1.4 Grès

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Grès quartzeux	$2\,600 \leq \rho \leq 2\,800$	2,6	1 000	40	30
Grès (silice)	$2\,200 \leq \rho \leq 2\,590$	2,3	1 000	40	30
Grès calcarifères	$2\,000 \leq \rho \leq 2\,700$	1,9	1 000	30	20

2.1.5 Silex, meulières et ponces

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Silex	$2\,600 \leq \rho \leq 2\,800$	2,6	1 000	10 000	10 000
Meulières	$1\,900 \leq \rho \leq 2\,500$	1,8	1 000	50	40
	$1\,300 \leq \rho < 1\,900$	0,9	1 000	30	20
Ponces naturelles	$\rho \leq 400$	0,12	1 000	8	6

2.2 Bétons

2.2.1 Bétons de granulats courants siliceux, silico-calcaires et calcaires

Granulats conformes aux spécifications de la norme NF P 18-540.

2.2.1.1 Béton plein

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
	$2\,300 < \rho \leq 2\,600$	2,00	1 000	130	80
	$2\,000 < \rho \leq 2\,300$	1,65	1 000	120	70

2.2.1.2 Béton caverneux

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
	$1\,800 < \rho \leq 2\,000$	1,35	1 000	100	60
	$1600 \leq \rho \leq 1\,800$	1,15	1 000	100	60

2.2.1.3 Béton plein armé

Valeurs à prendre en compte lorsque le béton plein est armé avec un pourcentage en volume d'acier et dont au moins la moitié est disposée parallèlement au flux thermique.

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Avec $1 < \% \text{ d'acier} \leq 2$	$2\,300 < \rho \leq 2\,400$	2,3	1 000	130	80
Avec $\% \text{ d'acier} > 2$	$\rho > 2\,400$	2,5	1 000	130	80

Pour les ouvrages dont le béton plein est armé avec moins de 1 % en volume d'acier ou n'entrant pas dans les familles ci-dessus, la valeur à prendre en compte est la valeur définie en 2.2.1.1 ci-dessus (Béton plein).

2.2.2 Bétons de granulats courants de laitiers de hauts fourneaux

Granulats conformes aux spécifications de la norme NF P 18-302.

2.2.2.1 Béton plein

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Avec sable de rivière ou de carrière	$2\,000 \leq \rho \leq 2\,400$	1,4	1 000	150	120
Avec laitier granulé (granulats conformes aux spécifications de la norme NF P 18-306)	$2\,100 \leq \rho \leq 2\,300$	0,8	1 000	150	120

2.2.2.2 Béton caverneux

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Bétons comportant moins de 10 % de sable de rivière	$1\,600 \leq \rho \leq 2\,000$	0,7	1 000	150	120

2.2.3 Bétons de granulats légers**2.2.3.1 Béton de pouzzolane ou de laitier expansé à structures caverneuses**

Granulats conformes aux spécifications des normes NF P 18-307 et NF P 18-308.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Masse volumique apparente des granulats en vrac 750 kg/m ³ environ					
– avec éléments fins ou sable	$1\,400 \leq \rho \leq 1\,600$	0,52	1 000	30	20
– sans éléments fins ou sable	$1\,200 \leq \rho < 1\,400$	0,44	1 000	30	20
– sans éléments fins de sable	$1\,000 \leq \rho \leq 1\,200$	0,35	1 000	30	20

2.2.3.2 Béton de cendres volantes frittées

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Masse volumique apparente des granulats en vrac 650 kg/m ³ environ	$1\,000 \leq \rho \leq 1\,200$	0,35	1 000	30	20

2.2.3.3 Béton de ponce naturelle

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Masse volumique apparente des granulats en vrac 600 kg/m ³ environ	$950 \leq \rho \leq 1\,150$	0,46	1 000	50	40

2.2.3.4 Béton d'argile expansé ou de schiste expansé

Granulats conformes aux spécifications de la norme NF P 18-309.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
• Bétons de structure Dosage en ciment égal ou supérieur à 300 kg/m ³ et masse volumique apparente des granulats en vrac comprise entre 300 et 550 kg/m ³ , ou supérieure à 550 kg/m ³					
– avec sable de rivière, sans sable léger	$1\ 600 < \rho \leq 1\ 800$	1,05	1 000	8	6
– avec sable de rivière et sable léger	$1\ 400 \leq \rho \leq 1\ 600$	0,85	1 000	8	6
• Bétons « isolants porteurs » Dosage en ciment égal ou supérieur à 300 kg/m ³ et masse volumique apparente des granulats en vrac comprise entre 300 et 550 kg/m ³					
– avec sable léger et au plus 10 % de sable de rivière	$1\ 200 < \rho \leq 1\ 400$	0,7	1 000	6	4
– avec sable léger, sans sable de rivière	$1\ 000 \leq \rho \leq 1\ 200$	0,46	1 000	6	4
• Bétons caverneux et semi-caverneux Dosage en ciment inférieur ou égal à 250 kg/m ³ et masse volumique apparente des granulats en vrac inférieure à 350 kg/m ³ ou comprise entre 350 et 550 kg/m ³ pour les bétons de masse volumique comprise entre 600 et 1 000 kg/m ³					
– avec sable léger, sans sable de rivière	$800 < \rho \leq 1\ 000$	0,33	1 000	6	4
– sans sable (léger ou de rivière) et ne nécessitant qu'un faible dosage en ciment	$600 \leq \rho \leq 800$	0,25	1 000	6	4
	$\rho \leq 600$	0,20	1 000	6	4
• Béton léger à base de ciment et de granulats légers artificiels ou naturels type schiste, argile, ponce, etc. Réalisation des voiles extérieurs banchés en façades ou en pignon de bâtiment, selon DTU 23.1 (norme	$1\ 200 \leq \rho < 1\ 400$	0,70	1 000	6	4

2.2.3.5 Mortier à base de granulats ou de billes de polystyrène expansé, avec ou sans vermiculite exfoliée, avec liant synthétique ou hydraulique

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Exemples d'application sous chape (procédure d'Avis Technique) ou pour recevoir un système d'étanchéité (norme NF P 84-204, référence DTU 43.1)	$250 \leq \rho < 400$	0,20	1 200	30	25
	$400 \leq \rho < 600$	0,28	1 200	30	25
	$600 \leq \rho < 800$	0,36	1 200	30	25

2.2.4 Bétons de granulats très légers

2.2.4.1 Bétons de perlite ou de vermiculite grade 3 (de 3 à 6 mm) coulés en place

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Dosage : 3/1	$600 < \rho \leq 800$	0,31	1 000	15	10
Dosage : 6/1	$400 \leq \rho \leq 600$	0,24	1 000	15	10

2.2.4.2 Plaques de béton de vermiculite fabriquées en usine

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	$400 \leq \rho \leq 600$	0,19	1 000	15	10

2.2.5 Bétons cellulaires traités à l'autoclave

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Valeurs utilisables pour des constructions avant 2005					
Masse volumique nominale 800	$765 < \rho \leq 825$	0,29	1 000	10	6
Masse volumique nominale 750	$715 < \rho \leq 775$	0,27	1 000	10	6
Masse volumique nominale 700	$665 < \rho \leq 725$	0,25	1 000	10	6
Masse volumique nominale 650	$615 < \rho \leq 675$	0,23	1 000	10	6
Masse volumique nominale 600	$565 < \rho \leq 625$	0,21	1 000	10	6
Masse volumique nominale 550	$515 < \rho \leq 575$	0,19	1 000	10	6
Masse volumique nominale 500	$465 < \rho \leq 525$	0,175	1 000	10	6
Masse volumique nominale 450	$415 < \rho \leq 475$	0,16	1 000	10	6
Masse volumique nominale 400	$365 < \rho \leq 425$	0,145	1 000	10	6
Valeurs utilisables pour des constructions après 2005					
Masse volumique nominale 800	$775 < \rho \leq 825$	0,25	1 000	10	6
Masse volumique nominale 700	$675 < \rho \leq 725$	0,225	1 000	10	6
Masse volumique nominale 600	$575 < \rho \leq 625$	0,20	1 000	10	6
Masse volumique nominale 550	$525 < \rho \leq 575$	0,18	1000	10	6
Masse volumique nominale 500	$475 < \rho \leq 525$	0,16	1 000	10	6
Masse volumique nominale 450	$425 < \rho \leq 475$	0,14	1 000	10	6
Masse volumique nominale 400	$375 < \rho \leq 425$	0,125	1 000	10	6
Masse volumique nominale 350	$325 < \rho \leq 375$	0,11	1 000	10	6

2.2.6 Bétons de bois

2.2.6.1 Béton de copeaux de bois (conforme aux documents d'avis Technique)

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
	$450 \leq \rho \leq 650$	0,16	1 000	15	10

2.2.6.2 Autre béton de copeaux de bois

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Béton de fibres végétales (fibre de chanvre)	$100 \leq \rho \leq 200$	0,1	1 000		
	$200 \leq \rho \leq 600$	0,2	1 000		

2.2.6.3 Panneaux de laine de bois (fibragglo)

Se référer au *paragraphe 2.5.3* de chapitre.

2.3 Plâtres

Conventionnellement, la masse volumique sèche des plâtres est obtenue après séchage en étuve ventilée à 55 °C au lieu de 70 °C (cf. norme NF B 12-001).

2.3.1 Plâtres sans granulats

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Plâtre « gaché serré » ou « très serré » (plâtre de très haute dureté (THD), plâtre projeté et plâtre fin)	$1\,200 < \rho \leq 1\,500$	0,56	1 000	10	4
	$900 < \rho \leq 1\,200$	0,43	1 000	10	4
	$600 \leq \rho \leq 900$	0,30	1 000	10	4
	$\rho \leq 600$	0,18	1 000	10	4
Plâtre courant d'enduit intérieur (plâtre fin de construction (PFC) ou plâtre gros de construction (PGC))	$1\,000 \leq \rho \leq 1\,300$	0,57	1 000	10	6
	$\rho \leq 1\,000$	0,40	1 000	10	6
Enduit intérieur à base de plâtre et de sable	$\rho \leq 1\,600$	0,80	1 000	10	6
Plaques de plâtres à parement de carton « standard » et « haute dureté » ou éléments préfabriqués en plâtre à parements lisses	$750 \leq \rho \leq 900$	0,25	1 000	10	4

2.3.2 Plâtre avec granulats légers ou fibres minérales

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Plaques de plâtre à parement de carton « spéciales feu » et plaques de plâtre armées de fibres minérales	$800 \leq \rho \leq 1\,000$	0,25	1 000	10	4
Plâtre d'enduit avec perlite tout-venant ou vermiculite grade 2 (de 1 à 2 mm) :					
	$600 \leq \rho \leq 900$	0,30	1 000	10	6
	$500 \leq \rho \leq 600$	0,18	1 000	10	6

2.4 Terre cuite

Terre cuite utilisée dans les éléments de maçonnerie.

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Masse volumique nominale 2 400	$2\,300 < \rho \leq 2\,400$	1,04	1 000	16	10
Masse volumique nominale 2 300	$2\,200 < \rho \leq 2\,300$	0,98	1 000	16	10
Masse volumique nominale 2 200	$2\,100 < \rho \leq 2\,200$	0,92	1 000	16	10
Masse volumique nominale 2 100	$2\,000 < \rho \leq 2\,100$	0,85	1 000	16	10
Masse volumique nominale 2 000	$1\,900 < \rho \leq 2\,000$	0,79	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 900	$1\,800 < \rho \leq 1\,900$	0,74	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 800	$1\,700 < \rho \leq 1\,800$	0,69	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 700	$1\,600 < \rho \leq 1\,700$	0,64	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 600	$1\,500 < \rho \leq 1\,600$	0,60	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 500	$1\,400 < \rho \leq 1\,500$	0,55	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 400	$1\,300 < \rho \leq 1\,400$	0,50	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 300	$1\,200 < \rho \leq 1\,300$	0,46	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 200	$1\,100 < \rho \leq 1\,200$	0,41	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 100	$1\,000 < \rho \leq 1\,100$	0,38	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 000	$\rho \leq 1\,000$	0,34	1 000	16	10

2.5 Végétaux

On caractérise les bois par leur masse volumique normale moyenne ρ_n , c'est-à-dire avec une teneur en humidité u de 15 % selon la terminologie de la norme NF B 51-002.

La densité ainsi caractérisée est donc plus élevée que la masse volumique sèche indiquée dans la deuxième colonne.

2.5.1 Bois

Matériaux ou application	ρ en kg/m ³	λ en W/(m.K)	C_p en J/(kg.K)	μ	
				Sec	Humide
Feuillus très lourds $\rho > 1\,000 \text{ kg/m}^3$	$\rho > 870$	0,29	1 600	200	50
Feuillus lourds $865 < \rho \leq 1\,000 \text{ kg/m}^3$	$750 < \rho \leq 870$	0,23	1 600	200	50
Feuillus mi-lourds $650 < \rho \leq 865 \text{ kg/m}^3$	$565 < \rho \leq 750$	0,18	1 600	200	50
Feuillus légers $500 < \rho \leq 650 \text{ kg/m}^3$	$435 < \rho \leq 565$	0,15	1 600	200	50
Feuillus très légers $230 < \rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$ hors balsa	$200 < \rho \leq 435$	0,13	1 600	50	20
Balsa $\rho_n \leq 230 \text{ kg/m}^3$	$\rho \leq 200$	0,057	1 600	50	20
Résineux très lourds $\rho > 700 \text{ kg/m}^3$	$\rho > 610$	0,23	1 600	50	20
Résineux lourds $600 < \rho \leq 700 \text{ kg/m}^3$	$520 < \rho \leq 610$	0,18	1 600	50	20
Résineux mi-lourds $500 < \rho \leq 600 \text{ kg/m}^3$	$435 < \rho \leq 520$	0,15	1 600	50	20
Résineux légers $\rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$	$\rho \leq 435$	0,13	1 600	50	20
Epicéa, Sapin blanc, Western Red Cedar		0,11			
Acajou d'Afrique, Cèdre, Douglas, Framiré, Mélèze, Meranti light red, Peuplier blanc, Pin maritime, Pin noir d'Autriche et Laricio, Pin sylvestre, Western Hemlock		0,13			
Bossé clair, Châtaignier, Jequitiba, Limba / Fraké, Tauari, Tiama, Tola		0,15			
Iroko, Louro vermelho (Grignon franc), Makoré / Douka, Mengkulang (Palapi), Mengkulang (Palapi), Meranti dark red, Niangon, Sapelli, Sipo, Teck		0,16			
Bintangor, Bossé foncé, Chêne (rouvre et/ou pédonculé), Curupixa, Doussié, Eucalyptus globulus, Eucalyptus grandis, Frêne, Hêtre, Kosipo, Kotibé, Merbau, Moabi, Movingui, Robinier (faux Acacia)		0,18			

2.5.2 Panneaux à base de bois

Définis conformément à la norme PR NF EN 13986 (octobre 2000).

2.5.2.1 Panneaux contreplaqués

Définis selon les normes NF EN 313 -1 et NF EN 313 -2 et bois panneautés définis selon la norme NF EN 12775.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Panneaux de masse volumique nominale 850 à 1 000 kg/m ³	750 < ρ ≤ 900	0,24	1 600	250	110
Panneaux de masse volumique nominale 700 à 850 kg/m ³	600 < ρ ≤ 750	0,21	1 600	250	110
Panneaux de masse volumique nominale 600 à 700 kg/m ³	500 < ρ ≤ 600	0,17	1 600	220	90
Panneaux de masse volumique nominale 500 à 600 kg/m ³	450 < ρ ≤ 500	0,15	1 600	200	70
Panneaux de masse volumique nominale 400 à 500 kg/m ³	350 < ρ ≤ 450	0,13	1 600	200	70
Panneaux de masse volumique nominale 300 à 400 kg/m ³	250 < ρ ≤ 350	0,11	1 600	200	50
Panneaux de masse volumique inférieure à 300 kg/m ³	ρ ≤ 250	0,09	1 600	200	50

2.5.2.2 Panneaux à lamelles longues et orientées (OsB)

Définis selon la norme NF EN 300.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	ρ ≤ 650	0,13	1 700	50	30

2.5.2.3 Panneaux de particules liées au ciment

Définis selon les normes NF EN 634-1 et NF EN 634-2.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	ρ ≤ 1 200	0,23	1 500	50	30

2.5.2.4 Panneaux de particules

Définis selon la norme NF EN 309.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Panneaux de masse volumique nominale 700 à 900 kg/m ³	640 < ρ ≤ 820	0,18	1 700	50	20
Panneaux de masse volumique nominale 500 à 700 kg/m ³	450 < ρ ≤ 640	0,15	1 700	50	20
Panneaux de masse volumique nominale 300 à 500 kg/m ³	270 < ρ ≤ 450	0,13	1 700	50	20
Panneaux de masse volumique nominale 200 à 300 kg/m ³	180 < ρ ≤ 270	0,10	1700	50	20

2.5.2.5 Panneaux de fibres

Définis selon la norme NF EN 316.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	Voir les annexes IX des arrêtés relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, soumis à la RT 2012.				

2.5.3 Panneaux de laine de bois

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Panneaux de laine de bois agglomérés avec un liant hydraulique, définis conformément à la norme NF EN 13168 (W W)	Voir les annexes IX des arrêtés relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, soumis à la RT 2012.				

2.5.4 Liège

Défini conformément à la norme NF B 57-000.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
– Comprimé					
– Expandé pur : se reporter au <i>paragraphe 2.6.3</i>	Voir les annexes IX des arrêtés relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, soumis à la RT 2012.				
– Expandé aggloméré au brai ou aux résines synthétiques : se reporter au <i>paragraphe 2.6.3</i>					

2.5.5 Paille comprimée

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	Voir les annexes IX des arrêtés relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, soumis à la RT 2012.				

2.6 Matériaux isolants manufacturés

Sont visés ici les matériaux dont la conductivité thermique est au plus égale à 0,065 W/(m.K), fabriqués en usine ou commercialisés sous la forme de plaques, panneaux ou rouleaux. Les caractéristiques thermiques des isolants sont données par famille d'isolants. Une famille est définie par une norme, un procédé de fabrication et, si nécessaire, des caractéristiques physiques spécifiques à cette famille. Les fabricants qui se réfèrent à une famille dans leurs documentations doivent pouvoir justifier que leurs produits satisfont aux critères d'identification

indiqués. En l'absence de cette justification sont applicables les valeurs données aux paragraphes ou alinéas « autres fabrications ».

2.6.1 Balsa

Se reporter au *paragraphe 2.5.1* de ce chapitre.

2.6.2 Laines minérales

Définies conformément à la norme NF EN 13162 (MW).

Les masses volumiques indiquées dans ce paragraphe sont les masses volumiques apparentes nominales telles que définies dans la norme NF EN 1602. Elles s'entendent revêtements éventuels exclus.

2.6.2.1 Laines de roches

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	15 ≤ ρ < 25	0,050	1 030	1	1
	25 ≤ ρ < 40	0,044	1 030	1	1
	40 ≤ ρ < 100	0,042	1 030	1	1
	100 ≤ ρ < 125	0,044	1 030	1	1
	125 ≤ ρ < 150	0,046	1 030	1	1
	150 ≤ ρ < 175	0,047	1 030	1	1
	175 ≤ ρ < 200	0,048	1 030	1	1

2.6.2.2 Laines de verres

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	7 ≤ ρ < 10	0,055	1 030	1	1
	10 ≤ ρ < 15	0,047	1 030	1	1
	15 ≤ ρ < 20	0,044	1 030	1	1
	20 ≤ ρ < 30	0,041	1 030	1	1
	30 ≤ ρ < 40	0,039	1 030	1	1
	40 ≤ ρ < 80	0,038	1 030	1	1
	80 ≤ ρ < 120	0,039	1 030	1	1
	120 ≤ ρ < 150	0,040	1 030	1	1

2.6.2.3 Laines minérales en vrac (masses volumiques à l'application)

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Laines obtenues par soufflage sur plancher de comble	10 ≤ ρ < 25	0,056	1 030	1	1
Laines obtenues par épandage manuel sur plancher de comble	10 ≤ ρ < 60	0,065	1 030	1	1
Laines obtenues par insufflation en mur, en rampant, etc.	20 ≤ ρ < 80	0,060	1 000	1	1

2.6.2.4 Autres laines minérales

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
		0,065	1 030	1	1

2.6.2.5 laine de laitier ou de roche ou hydraulique appliquées

Appliquées par projection humide en sous-faces de planchers ou sous-bardages rapportés selon les spécifications du DTU 27.1 (normes NF P 15-201-1 et NF P 15-201-2).

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
	$140 \leq \rho < 200$	0,045	1 200	2	2
	$200 \leq \rho < 300$	0,050	1 200	2	2
	$300 \leq \rho < 500$	0,070	1 200	2	2

2.6.3 Liège

Se référer au *paragraphe 2.5.4* pour les produits de masse volumique supérieure à 250 kg/m³.

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Expansé pur conforme à la norme NF EN 13170 (ICB)	Voir les annexes IX des arrêtés relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, soumis à la RT 2012.				
Expansé aggloméré au brai ou aux résines synthétiques					

2.6.4 Matières plastiques alvéolaires

2.6.4.1 Polystyrène expansé

Dans le cas où les produits ci-dessous sont utilisés en toiture inversée, on se reportera, pour la détermination de leur conductivité thermique, aux Avis Techniques concernant ces procédés.

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Plaques découpées dans des blocs moulés et conformes à la norme NF EN 13163 (EPS)	$7 \leq \rho < 10$	0,056	1 450	60	60
	$10 \leq \rho < 13$	0,050	1 450	60	60
	$13 \leq \rho < 15$	0,047	1 450	60	60
Plaques moulées en continu et conformes à la norme NF EN 13163 (EPS)	$15 \leq \rho < 19$	0,044	1 450	60	60
	$19 \leq \rho < 24$	0,042	1 450	60	60
	$24 \leq \rho < 29$	0,040	1 450	60	60
Autres plaques moulées à partir de billes	$29 \leq \rho < 40$	0,039	1 450	60	60
	$40 \leq \rho < 60$	0,038	1 450	60	60

2.6.4.2 Plaques extrudées conformes à la norme NF EN 13164 (xPs)**2.6.4.2.1 Plaques sans gaz occlus autres que l'air et le CO₂**

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Épaisseur ≤ 60 mm	28 ≤ ρ ≤ 40	0,041	1 450	150	150
Épaisseur > 60 mm	28 ≤ ρ ≤ 40	0,046	1 450	150	150

2.6.4.2.2 Plaques avec des hydrofluorocarbures HcFc (142b et/ou R22)

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	25 ≤ ρ ≤ 40	0,035	1 450	150	150

2.6.4.2.3 Plaques avec chlorofluorocarbures cFc⁽³⁾

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Sans peau de surface	25 ≤ ρ ≤ 40	0,033	1 450	150	150
Avec peau de surface	25 ≤ ρ ≤ 40	0,031	1 450	150	150

2.6.4.2.4 Plaques avec des hydrofluorocarbures HFc 134a ou 152a

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Épaisseur ≤ 60 mm	25 ≤ ρ ≤ 40	0,039	1 450	150	150
Épaisseur > 60 mm	25 ≤ ρ ≤ 40	0,044	1 450	150	150

2.6.4.3 Plaques expansées fabriquées à partir de polystyrène mais n'entrant pas dans les familles définies ci-dessus

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	20 ≤ ρ ≤ 60	0,050	1 450	150	150

2.6.4.4 Mousse rigide de polychlorure de vinyle définie conformément à la norme NF T 56-202

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Q2	25 ≤ ρ ≤ 35	0,031			
Q3	35 ≤ ρ ≤ 48	0,034			

3. Ces produits sont visés par le règlement CEE, portant sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. En conséquence, les valeurs qui leur correspondent ne valent que pour les ouvrages réalisés avant 1996 et maintenus en l'état.

2.6.4.5 Mousse de polyuréthane ou de polyisocyanate

Plaques conformes à la norme NF EN 13165 (PUR).

On donne ici les caractéristiques thermiques des matériaux fabriqués en usine. Pour les produits projetés, se reporter au *paragraphe 2.6.4.5.9.*

2.6.4.5.1 Plaques moulées en continu entre revêtements souples et expansées avec des hydrochlorofluoro- carbures HcFc (141b) (4) et/ou aux pentanes

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Revêtements perméables à la diffusion	$27 \leq \rho \leq 40$	0,035	1 400	60	60
Alu > 50 μm ou reconnus étanches aux gaz	$27 \leq \rho \leq 40$	0,030	1 400	60	60

2.6.4.5.2 Plaques découpées dans des blocs moulés en continu et expansés avec des hydrochlorofluoro- carbures HcFc (141b) (4) et/ou aux pentanes

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	$37 \leq \rho \leq 65$	0,041	1 400	60	60

2.6.4.5.3 Plaques moulées en continu injectées entre deux parements rigides (métal, verre, etc.)

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Expansées avec des hydrochlorocarbures ⁽⁴⁾ ou du pentane	$37 \leq \rho \leq 60$	0,032	1 400	60	60
Expansées sans gaz occlus autre que l'air	$37 \leq \rho \leq 60$	0,035	1 400	60	60

4. Ces produits sont visés par le règlement CEE, portant sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. En conséquence, les valeurs qui leur correspondent ne valent que pour les ouvrages réalisés avant 1996 et maintenus en l'état.

2.6.4.5.4 Plaques moulées en continu projetées sur un parement rigide (plâtre, dérivés du bois, etc.) expansées avec des hydrochlorofluorocarbures⁽⁵⁾ ou aux pentanes

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
	$30 \leq \rho \leq 50$	0,035	1 400	60	60

2.6.4.5.5 Plaques moulées en continu ou découpées dans des blocs moulés expansés sans gaz occlus autres que l'air ou du CO₂

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
	$15 \leq \rho \leq 30$	0,040	1 400	60	60

5. Ces produits sont visés par le règlement CEE, portant sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. En conséquence, les valeurs qui leur correspondent ne valent que pour les ouvrages réalisés avant 1996 et maintenus en l'état

2.6.4.5.6 *Plaques conformes à la norme NF T 56-203, découpées dans des blocs moulés en discontinu avec gaz cFc⁽⁵⁾*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Référence AD	30 ≤ ρ < 35	0,030	1 400	60	60
Référence BD	35 ≤ ρ < 40	0,030	1 400	60	60
Référence CD	40 ≤ ρ < 50	0,035	1 400	60	60
Référence DD	50 ≤ ρ < 60	0,035	1 400	60	60
Référence ED	60 ≤ ρ < 70	0,040	1 400	60	60
Référence FD	70 ≤ ρ < 100	0,045	1 400	60	60

2.6.4.5.7 *Plaques conformes à la norme NF T 56-203, découpées dans des blocs moulés en discontinu avec gaz cFc⁽⁵⁾*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Référence AC	29 ≤ ρ < 31	0,030	1 400	60	60
Référence BC	31 ≤ ρ < 33	0,030	1 400	60	60
Référence CC	33 ≤ ρ < 37	0,035	1 400	60	60
Référence DC	37 ≤ ρ < 46	0,035	1 400	60	60
Référence EC	46 ≤ ρ < 56	0,035	1 400	60	60
Référence FC	56 ≤ ρ < 66	0,040	1 400	60	60
Référence GC	66 ≤ ρ < 75	0,040	1 400	60	60
Référence HC	75 ≤ ρ < 100	0,045	1 400	60	60

2.6.4.5.8 *Plaques moulées en continu avec gaz cFc⁽⁶⁾*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	27 ≤ ρ ≤ 35	0,030	1 400	60	60

2.6.4.5.9 Plaques expansées, fabriquées à partir de polyuréthane mais n'entrant pas dans les familles définies ci-dessus

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	20 ≤ ρ < 60	0,050	1 400	60	60

5. Ces produits sont visés par le règlement CEE, portant sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. En conséquence, les valeurs qui leur correspondent ne valent que pour les ouvrages réalisés avant 1996 et maintenus en l'état.

6. Ces produits sont visés par le règlement CEE, portant sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. En conséquence, les valeurs qui leur correspondent ne valent que pour les ouvrages réalisés avant 1996 et maintenus en l'état.

2.6.4.5.10 Mousse de polyuréthane ou de polyisocyanurate ou mousse de faible densité à base d'isocyanate à cellules ouvertes

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(C _p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Application en sol <i>in situ</i> sous chape	20 ≤ ρ < 60	0,050	1 400	60	60
Autres applications	5 ≤ ρ < 60	0,060	1 400	60	60

2.6.4.6 Mousse phénolique rigide

On ne donne ici que les caractéristiques thermiques des matériaux fabriqués en usine.

2.6.4.6.1 Panneaux fabriqués en continu, expansés aux hydrochlorofluorocarbures (HcFc 141b) et (ou) aux hydrochlorocarbures (IBl2) et (ou) aux pentanes

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(C) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	30 ≤ ρ ≤ 45	0,030	1 400	50	50

2.6.4.6.2 Panneaux fabriqués à partir de mousse phénolique mais n'entrant pas dans la famille ci-dessus

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(C _p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	30 ≤ ρ ≤ 60	0,050	1 400	50	50

2.6.4.7 Autres matières plastiques alvéolaires fabriquées en usine

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(C) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Isolants fabriqués à partir d'autres matières plastiques alvéolaires	7 ≤ ρ ≤ 100	0,065			

2.6.5 Plaques à base de perlite expansée

2.6.5.1 Plaques comportant un pourcentage de perlite expansée et de fibres supérieur à 80 %

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(C) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	220 ≤ ρ ≤ 275	0,062	900	5	5
	180 ≤ ρ ≤ 220	0,060	900	5	5
	150 ≤ ρ ≤ 180	0,059	900	5	5

2.6.5.2 Plaques à base de perlite expansée et de cellulose agglomérées, n'entrant pas dans la famille ci-dessus

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(C) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	140 ≤ ρ < 260	0,064			

2.6.6 Plaques homogènes de verre cellulaire

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(C) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Fabrications postérieures à 1978	110 ≤ ρ ≤ 140 140 ≤ ρ ≤ 180	0,051	1 000	∞	∞

2.6.7 Produits manufacturés à base de fibres végétales (laine de chanvre, laine de lin en panneaux ou rouleaux, coton, etc.)

2.6.7.1 Cellulose à base de papiers broyés

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Application par machine pneumatique	Voir les annexes IX des arrêtés relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, soumis à la RT 2012.				
Application manuelle par épandage					

2.6.7.2 Chanvre et lin

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Fibres liées	Voir les annexes IX des arrêtés relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, soumis à la RT 2012.				
Fibres non liées : en vrac					

2.6.7.3 Paille de blé comprimée

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Transversalement au sens de la paille	Voir les annexes IX des arrêtés relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, soumis à la RT 2012.				
Dans le sens de la paille					

2.6.7.4 Autres types de paille comprimée

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
	Voir les annexes IX des arrêtés relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, soumis à la RT 2012.				

2.6.7.5 Autres isolants à base de fibres végétales

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
	Voir les annexes IX des arrêtés relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, soumis à la RT 2012.				

2.6.8 Produits manufacturés à base de fibres animales (laine de mouton, etc.)

2.6.8.1 Laine de mouton

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
	Voir les annexes IX des arrêtés relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, soumis à la RT 2012.				

2.6.8.2 Autres isolants à base de fibres animales

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
	Voir les annexes IX des arrêtés relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, soumis à la RT 2012.				

2.6.9 Produits réfléchissants opaques

Résistance thermique intrinsèque par défaut des produits réfléchissants (m².K/W)

	Epaisseur du produit réfléchissant (mm)				
Type	0	5	10	20	40
A bulles	0	0.06	0.10	0.20	0.48
Multicouches	0	0.10	0.20	0.40	0.80

2.7 Matières plastiques synthétiques compactes, mastics et produits d'étanchéité

2.7.1 Matières synthétiques compactes d'usage courant dans le bâtiment

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Naturel	910	0,13	1 100	10 000	10 000
Néoprène (polychloroprène)	1 240	0,23	2 140	10 000	10 000
Butyle (isobutène), plein/coulé à chaud	1 200	0,24	1 400	200 000	200 000
Caoutchouc mousse	60-80	0,06	1 500	7 000	7 000
Caoutchouc dur (ébonite), plein	1 200	0,17	1 400		
Éthylène propylène diène monomère (EPDM)	1 150	0,25	1 000	6 000	6 000
Polyisobuthylène	930	0,20	1 100	10 000	10 000
Polysulfure	1 700	0,40	1 000	10 000	10 000
Butadiène	980	0,25	1 000	100 000	100 000
Acryliques	1 050	0,20	1 500	10 000	10 000
Polycarbonates	1 200	0,20	1 200	5 000	5 000
Polytétrafluoréthylène (PTFE)	200	0,25	1 000	10 000	10 000
Chlorure de polyvinyle (PVC)	1 390	0,17	1 900	50 000	50 000
Polyméthylméthacrylate (PMMA)	1 180	0,18	1 500	50 000	50 000
Polyacétate	1 410	0,30	1 400	100 000	100 000
Polyamide (nylon)	1 150	0,25	1 600	50 000	50 000
Polyamide 6.6 avec 25 % de fibres de verre	1 450	0,30	1 600	50 000	50 000
Polyéthylène/polythène, haute densité	980	0,50	1 800	100 000	100 000
Polyéthylène/polythène, basse densité	920	0,33	2 200	100 000	100 000
Polystyrène	1 050	0,16	1 300	100 000	100 000
Polypropylène	910	0,22	1 800	10 000	10 000
Polypropylène avec 25 % de fibres de verre	1 200	0,25	1 800	10 000	10 000
Polyuréthane (PU)	1 200	0,25	1 800	6 000	6 000
Résine époxy	1 200	0,20	1 400	10 000	10 000
Résine phénolique	1 300	0,30	1 700	100 000	100 000
Résine polyester	1 400	0,19	1 200	10 000	10 000

2.7.2 Mastics pour joints, étanchéité et coupure thermique

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Silicagel (dessicatif)	720	0,13	1 000		
Silicone pur	1 200	0,35	1 000	5 000	5 000
Silicone mastic	1 450	0,50	1 000	5 000	5 000
Mousse de silicone	750	0,12	1 000	10 000	10 000
Uréthane polyuréthane (coupure thermique)	1 300	0,21	1 800	60	60
Chlorure de polyvinyle flexible avec 40 % de plastifiant	1 200	0,14	1 000	100 000	100 000
Mousse élastomère flexible	60-80	0,05	1 500	10 000	10 000
Mousse de polyuréthane (PU)	70	0,05	1 500	60	60
Mousse de polyéthylène	70	0,05	2 300	100	100

2.7.3 Produits d'étanchéité

Les matériaux de protection, placés au-dessus de l'étanchéité ne sont pas pris en compte dans le calcul du facteur μ, sauf spécification contraire donnée dans un Avis Technique.

2.7.3.1 Asphalte

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Asphalte pur	$\rho \leq 2\,100$	0,70	1 000	50 000	50 000
Asphalte sablé		1,15	1 000	50 000	50 000

2.7.3.2 Bitume

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Pur	$\rho \leq 1\,050$	0,17	1 000	50 000	50 000
Cartons feutres et chapes souples imprégnées	$1\,000 \leq \rho \leq 1\,100$	0,23	1 000	50 000	50 000

2.8 Métaux

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Aluminium	2 700	230	880		
Alliages d'aluminium	2 800	160	880		
Bronze	8 700	65	380		
Laiton	8 400	120	380		
Cuivre	8 900	380	380		
Fer pur	7 870	72	450		
Fer, fonte	7 500	50	450		
Plomb	11 300	35	130		
Acier	7 800	50	450		
Acier inoxydable	7 900	17	460		
Zinc	7 200	110	380		

2.9 Autres matériaux

2.9.1 Terres et sols

2.9.1.1 Sols

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Sable et gravier	$1\,700 \leq \rho \leq 2\,200$	2,0	910-1 180	50	50
Argile ou limon	$1\,200 \leq \rho \leq 1\,800$	1,5	1 670-2 500	50	50

2.9.1.2 Pisé, bauge, béton de terre stabilisé, blocs de terre comprimée

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
	$1\,770 \leq \rho \leq 2\,000$	1,1			

2.9.1.3 Revêtements de sol

Matériaux ou application	(ρ)	(λ)	(Cp)	(μ)	
	en kg/m ³	en W/(m.K)	en J/(kg.K)	Sec	Humide
Caoutchouc	1 200	0,17	1 400	10 000	10 000
Plastique	1 700	0,25	1 400	10 000	10 000
Sous-couche, caoutchouc-mousse ou plastique cellulaire	270	0,10	1 400	10 000	10 000
Sous-couche feutre	120	0,05	1 300	20	15
Sous-couche laine	200	0,06	1 300	20	15
Sous-couche liège	$\rho < 200$	0,05	1 500	20	10
Plaque de liège	$\rho > 400$	0,065	1 500	40	20
Tapis, revêtement textile	200	0,06	1 300	5	5
Linoléum	1 200	0,17	1 400	1 000	800

2.9.2 Mortiers d'enduits et de joints de ciment ou de chaux

Les mortiers de masse volumique inférieure à 1 800 kg/m³ sont considérés comme non traditionnels.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	ρ > 2 000	1,8	1 000	10	6
	1 800 < ρ ≤ 2 000	1,3 (*)	1 000	10	6
	1 600 < ρ ≤ 1 800	1,0	1 000	10	6
	1 450 < ρ ≤ 1 600	0,80	1 000	10	6
	1 250 < ρ ≤ 1 450	0,70	1 000	10	6
	1 000 < ρ ≤ 1 250	0,55	1 000	10	6
	750 < ρ ≤ 1 000	0,40	1 000	10	6
	500 < ρ ≤ 750	0,30	1 000	10	6
(*) La masse volumique moyenne d'un mortier de pose est de 1 900 kg/m ³ .					

2.9.3 Fibres-ciment et fibres-ciment cellulosé

2.9.3.1 Fibres-ciment

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	1 800 < ρ ≤ 2 200	0,95			
	1 400 ≤ ρ ≤ 1 800	0,65			

2.9.3.2 Fibres-ciment cellulosé

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	1 400 < ρ ≤ 1 800	0,46			
	1 000 ≤ ρ ≤ 1 400	0,35			

2.9.4 Plaques à base de vermiculite agglomérées aux silicates

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	400 < ρ ≤ 500	0,19			
	300 < ρ ≤ 400	0,14			
	200 < ρ ≤ 300	0,10			

2.9.5 Verre

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Verre sodo-calcaire (y compris le verre flotté)	2 500	1,00	750		
Quartz	2 200	1,40	750		
Pâte de verre	2 000	1,20	750		

2.9.6 Matériaux en vrac

Les caractéristiques de ces matériaux sont fonction de leur mise en œuvre ; elles sont données dans le chapitre A4 « Parois opaques ».

2.9.7 Gaz

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Air	1,23	0,025	1 008	1	1
Dioxyde de carbone	1,95	0,014	820	1	1
Argon	1,70	0,017	519	1	1
Hexafluorure de soufre	6,36	0,013	614	1	1
Krypton	3,56	0,009	245	1	1
Xénon	5,68	0,0054	160	1	1

2.9.8 Eau

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(λ) en W/(m.K)	(Cp) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Glace à -10 °C	920	2,30	2 000		
Glace à 0 °C	900	2,20	2 000		
Neige fraîchement tombée (< 30 mm)	100	0,05	2 000		
Neige souple (30-70 mm)	200	0,12	2 000		
Neige légèrement comprimée (70-100 mm)	300	0,23	2 000		
Neige compactée (< 200 mm)	500	0,60	2 000		
Eau à 10 °C	1 000	0,60	4 190		
Eau à 40 °C	990	0,63	4 190		
Eau à 80 °C	970	0,67	4 190		

A3 Parois vitrées

1 – Introduction

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

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

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

1.1 – Références normatives

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

Normes d'essai

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

Normes de calcul

NF EN ISO 10077-1	Performances thermiques des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – Partie 1 : Méthode simplifiée.
--------------------------	---

- NF EN ISO 10077-2** Performances thermiques des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – Partie 2 : Méthode numérique pour profilés de menuiserie.
- NF EN 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

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.

1.2 – Définitions, symboles et indices

1.2.1 – Définitions

Dans ce document, les définitions suivantes s’appliquent :

- **élément de remplissage** : il s'agit généralement soit d'un vitrage (simple, double ou triple), soit d'un panneau opaque (ou translucide).
- **menuiserie** : ensemble de profilés, fixes, dormants ou ouvrants (incluant les joints, mastics et produits d'étanchéité) pouvant encadrer l'élément de remplissage.
- **aire projetée** : aire de la surface projetée sur un plan parallèle à l'élément de remplissage de la paroi vitrée.
- **aire développée** : surface de toutes les parties, d'un élément donné, en contact direct avec l'ambiance, intérieure ou extérieure, selon le cas.
- **cavité d'air**: volume d'air dont la largeur de la section transversale, en partie courante, est inférieure à dix fois son épaisseur.
- **lame d'air**: volume d'air dont la largeur de la section transversale, en partie courante, est supérieure à dix fois son épaisseur.

- **cavité d'air non ventilée** : cavité complètement fermée ou qui communique avec l'extérieur par le biais d'un interstice ne dépassant pas 2 mm.

- **cavité d'air partiellement ventilée** : cavité dont la profondeur est supérieure ou égale à la largeur $2 < l \leq 10$ mm de l'unique interstice à travers lequel elle communique avec l'extérieur.

- **cavité d'air fortement ventilée** : cavité dont la profondeur est inférieure à la largeur $2 < l \leq 10$ mm de l'unique interstice à travers lequel elle communique avec l'extérieur ou cavité qui communique avec l'extérieur par le biais d'un interstice de largeur $l > 10$ mm.

- **bloc-baie** : dit également bloc-fenêtre, il s'agit d'un composant destiné à être mis en œuvre dans une baie et constitué d'une fenêtre (ou porte-fenêtre) avec sa fermeture, montées en usine.

- **façade rideau** : façade légère constituée d'un assemblage de profilés d'ossature et de menuiserie et d'éléments de remplissage opaques, transparents, ou translucides. Elle peut comporter une ou plusieurs parois et elle est située entièrement en avant d'un nez de plancher.

1.2.2 – Symboles

Symbole	Grandeur	Unité
U	Coefficient de transmission surfacique	W/(m ² .K)
ψ	Coefficient de transmission linéique	W/(m.K)
e	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

1.2.3 – Indices

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

2 - Méthodes de calcul

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

2.1 – Principe

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

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

1 – la partie courante de l'élément de remplissage.

Elle se caractérise par un coefficient de transmission surfacique qui exclut l'effet de bord, et qui est valable sur toute la surface visible de l'élément de remplissage.

2 – la jonction entre la menuiserie et l'élément de remplissage.

Elle se caractérise par un coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné du bord de l'élément de remplissage et de la menuiserie. Ce coefficient s'applique au périmètre de la partie visible de l'élément de remplissage.

3 – la menuiserie.

Elle se caractérise par un coefficient de transmission surfacique moyen valable sur toute la surface de la menuiserie.

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

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

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

2.2 – Calcul de la paroi vitrée

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

2.2.1 – Fenêtres, portes et portes-fenêtres

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

2.2.1.1 - Simple paroi

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

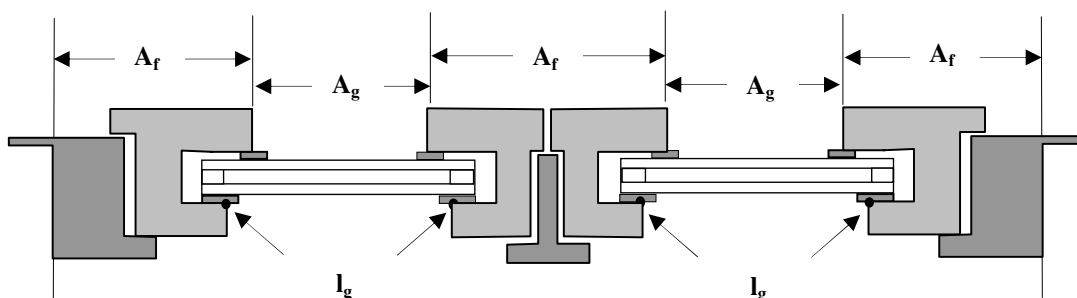


Figure 1 : Dimensions des différents composants de la fenêtre

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

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

où

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

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

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

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

$$U_g = 1.05 U_{g,d}$$

si **verre à couche basse émissivité** ou vitrage **isolant** à couche basse émissivité et remplissage **air**

$$U_g = 1.10 U_{g,d}$$

si vitrage isolant à couche basse émissivité et remplissage gaz autre que l'air

$U_{g,d}$ étant le coefficient de transmission surfacique du vitrage, déterminé conformément aux normes européennes utilisées dans le cadre du marquage CE des produits verriers (NF EN 673, NF EN 1096 et NF EN 1279).

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

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

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

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

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

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

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + U_p A_p + \Psi_g I_g + \Psi_p I_p}{A_g + A_f + A_p} \quad (3)$$

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 au paragraphe 2.3.1.

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

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

2.2.1.2 – Double paroi

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

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

R_{si} et R_{se} étant les résistances superficielles, intérieures et extérieures, données au tableau VI du paragraphe 2.3.2.1 D2.

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 mm^2 par mètre de longueur de paroi pour les lames verticales (pour une lame horizontale voir chapitre A4 « parois opaques »), sans qu'aucune disposition ne soit entreprise pour limiter les échanges d'air avec l'extérieur.

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

Epaisseur de la lame d'air e mm	Résistance de la lame d'air R_s $m^2.K/W$
0	0,00
5	0,11
7	0,13
10	0,15
15	0,17
$25 \leq e \leq 300$	0,18
NOTE – Les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire	

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

2.2.2 – Lanterneaux

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

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

2.2.2.1 - Lanterneaux ponctuels



Figure 2- Lanterneau ponctuel

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

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

- A_t est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide, vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 .
- L_1 est le périmètre intérieur de la costière, exprimé en m.
- L_2 est la longueur du profil central pour des lanterneaux à deux vantaux, exprimée en m.
- A_p est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m^2 .
- U_t est le coefficient surfacique en partie centrale de la plaque translucide en $W/(m^2.K)$.

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

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

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

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

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

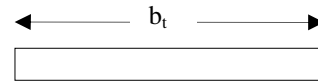


Figure 3 : Modèle numérique de la plaque translucide

où

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

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

b_t est la longueur du modèle en m.

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

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

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

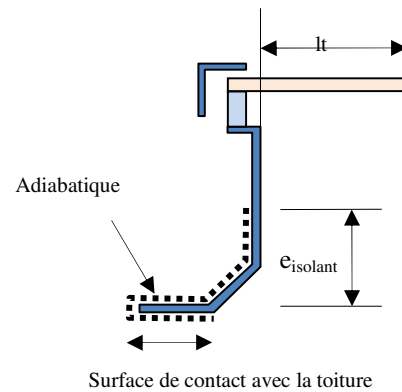


Figure 4 : Coupe transversale au niveau de la costière

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

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

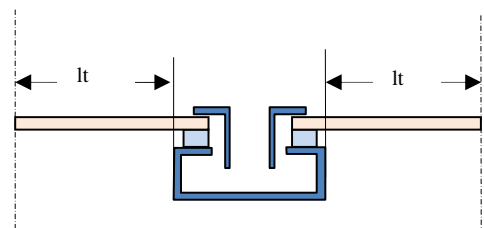


Figure 5 : Coupe transversale au niveau du profilé central

2.2.2.2 - Lanterneaux filants

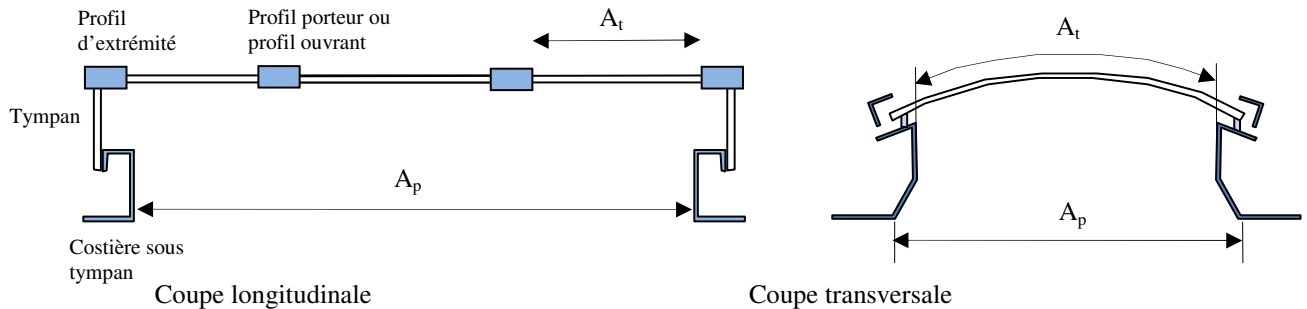


Figure 6- Lanterneau filant

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

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

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 2.2.2.1.

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

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

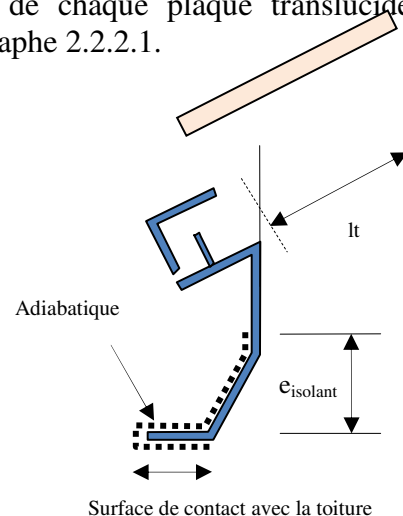


Figure 7- Coupe transversale au niveau de la costière

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

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

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):

$$\psi_2 = \frac{\phi_3}{\Delta T} - (U_{t1} + U_{t2}) \times l_t$$

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):

$$\psi_2 = \frac{\phi_4}{\Delta T} - U_t \times l_t$$

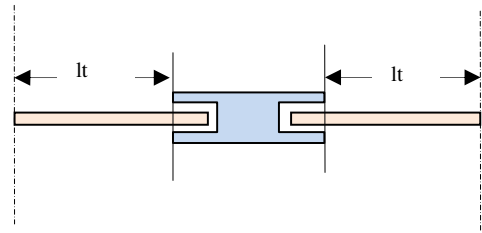


Figure 8 - Coupe transversale au niveau du profil porteur ou profil ouvrant

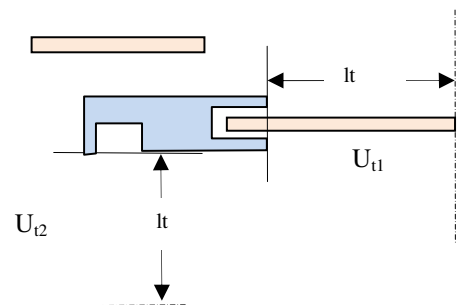


Figure 9 - Coupe transversale au niveau du profil d'extrémité

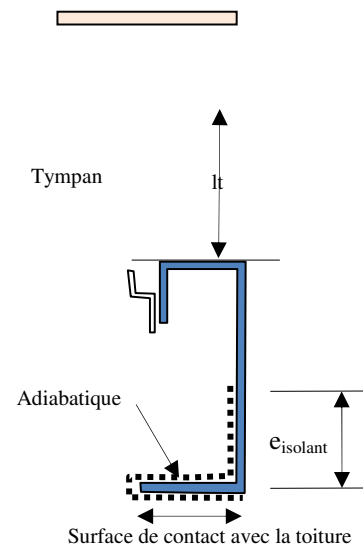


Figure 10 - Coupe transversale au niveau de la costière sous tympan

2.2.3 – Paroi vitrée avec fermetures et stores

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

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

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

où

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

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

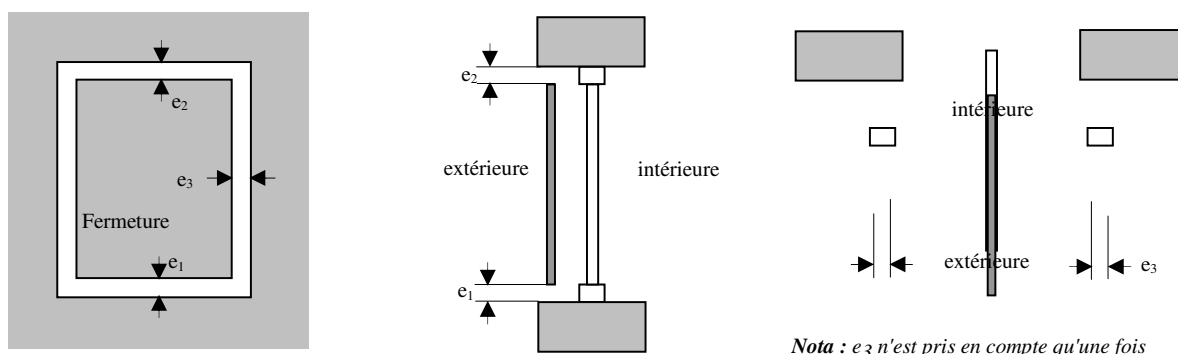
2.2.3.1 – Fermetures extérieures

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

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

$$e_{tot} = e_1 + e_2 + e_3 \quad (6)$$

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



Nota : e_3 n'est pris en compte qu'une fois

Figure 11 : Largeurs moyenne des interstices

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

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

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

- Classe 1 – Fermetures de très forte perméabilité :

$$\Delta R = 0,08 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)} \quad (7)$$

- Classe 2 – Fermetures de forte perméabilité :

$$\Delta R = 0,25 R_s + 0,09 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)} \quad (8)$$

- Classe 3 – Fermetures de perméabilité moyenne :

$$\Delta R = 0,55 R_s + 0,11 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)} \quad (9)$$

- Classe 4 – Fermetures de faible perméabilité :

$$\Delta R = 0,80 R_s + 0,14 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)} \quad (10)$$

- Classe 5 – Fermetures de très faible perméabilité :

$$\Delta R = 0,95 R_s + 0,17 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)} \quad (11)$$

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

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

Les valeurs de R_s peuvent être déterminées par mesure ou par calcul selon le paragraphe 2.3.4. A défaut de valeurs certifiées de la résistance additionnelle ΔR , les valeurs peuvent être obtenues soit par calcul selon paragraphe 2.2.3.1, soit d'après le tableau II :

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

Tableau II : Résistances thermiques additionnelles des fermetures

2.2.3.2 – Stores extérieurs, intérieurs ou entre deux vitres

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

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

Le critère de perméabilité est donné par la relation :

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

où :

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

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

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

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

2.2.3.2.1. Stores extérieurs

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

-- Classe 1 – Stores à forte ou très forte perméabilité à l'air : $P_e \geq 35$ mm

$$\Delta R = 0,08 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

-- Classe 2 – Stores à perméabilité moyenne à l'air : $8 \text{ mm} \leq P_e < 35$ mm

$$\Delta R = 0,11 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

-- Classe 3 – Stores à faible perméabilité à l'air : $P_e < 8$ mm

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

2.2.3.2.2. Stores intérieurs ou stores entre vitrage

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

- Classe 1 – Stores à forte ou très forte perméabilité à l'air : $P_e \geq 80 \text{ mm}$
 $\Delta R = 0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
- Classe 2 – Stores à perméabilité moyenne à l'air : $20 \text{ mm} \leq P_e < 80 \text{ mm}$
 $\Delta R = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
- Classe 3 – Stores à faible perméabilité à l'air : $P_e < 20 \text{ mm}$
 $\Delta R = 0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

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

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

2.2.4 – Blocs-baies

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

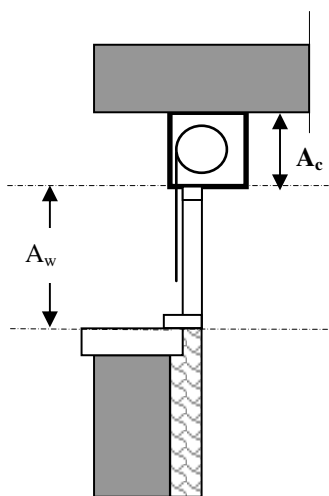


Figure 12 : Coffre de volet roulant dans la surface du tableau de la baie

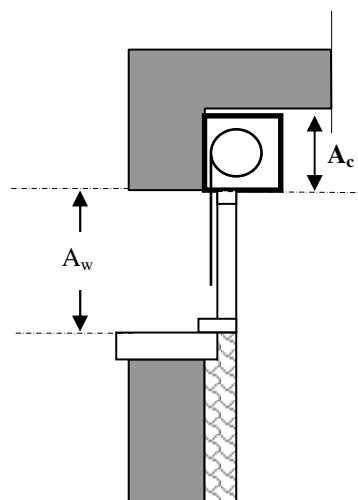


Figure 13 : Coffre de volet roulant en applique derrière linteau

2.2.4.1 Calcul du bloc baie

2.2.4.1.1 – les blocs-baies dont le coffre de volet roulant s'inscrit dans la surface du tableau de la baie (figure 12)

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

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

où

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

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

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

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

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

2.2.4.1.2 – les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau (figure 13).

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

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

2.2.4.2 - Calcul du bloc baie avec sa fermeture

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

2.2.4.2.1 – les blocs-baies dont le coffre de volet roulant s'inscrit dans la surface du tableau de la baie (figure 12)

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

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

Où

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

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

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

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

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

2.2.4.2.2 – les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau (figure 13).

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

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

2.2.5 – Façades rideaux

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

La méthode de calcul détaillée correspondante est décrite dans la norme NF EN 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 au paragraphe 2.3.

3 – On détermine le coefficient surfacique moyen U_{cwi} de chaque module.

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

où

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

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

$U_g = 1.05 U_{g,d}$ si **verre à couche basse émissivité** ou vitrage **isolant** à couche basse émissivité et remplissage **air**

$U_g = 1.10 U_{g,d}$ si vitrage isolant à couche basse émissivité et remplissage gaz autre que l'air

$U_{g,d}$ étant le coefficient de transmission surfacique du vitrage, déterminé conformément aux normes européennes utilisées dans le cadre du marquage CE des produits verriers (NF EN 673, NF EN 1096 et NF EN 1279).

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

U_p est le coefficient surfacique en partie centrale du panneau opaque en $W/(m^2.K)$. La méthode de calcul correspondante est donnée au paragraphe 2.3.1.

l_p est le plus grand périmètre visible du panneau, vu des deux côtés de la paroi en m

l_g est le plus grand périmètre visible du vitrage, vu des deux côtés de la paroi, en m

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

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

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

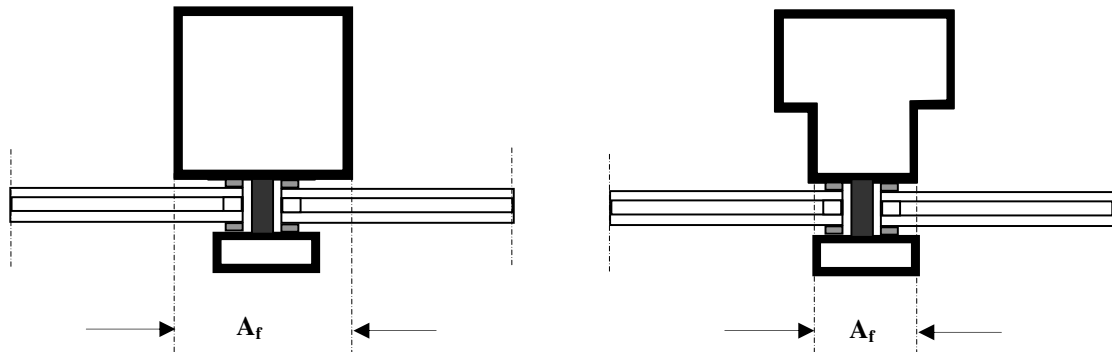


Figure 14 : Aires projetées visibles de la menuiserie

4 – On détermine le coefficient surfacique moyen de la façade.

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

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

Où

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

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

A_{cwi} est l'aire projetée du module i, en m^2

2.2.6 – Puits de lumière

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

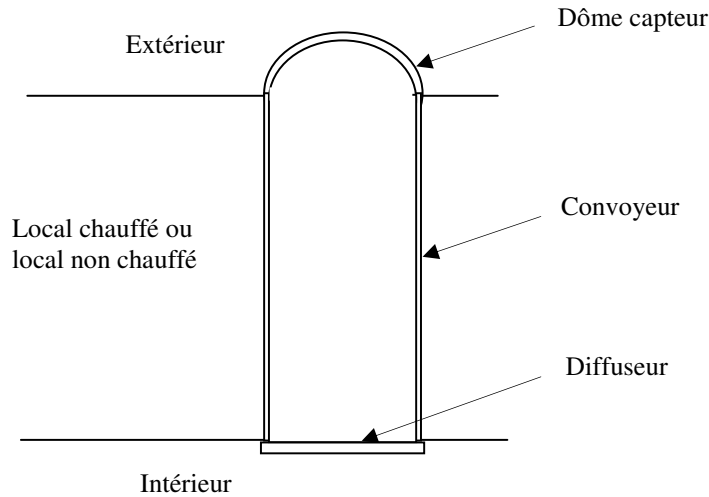


Figure 15 – Puits de lumière

2.2.6.1 – Puits de lumière traversant un local non chauffé

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

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

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

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

b coefficient de réduction des déperditions du local non chauffé, déterminé d'après le chapitre A1 (Généralités)

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

2.2.6.2 - Puits de lumière traversant un local chauffé

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

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

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

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

$U_{\text{convoyeur}}$ coefficient de transmission surfacique du convoyeur calculé d'après le chapitre A4 (Parois opaques), en $W/(m^2.K)$

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

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

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

2.2.7 – Parois en briques de verre

2.2.7.1 – Domaine d'emploi

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

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

2.2.7.2 – Méthode générale

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

$$U_w = U_g + \Delta U$$

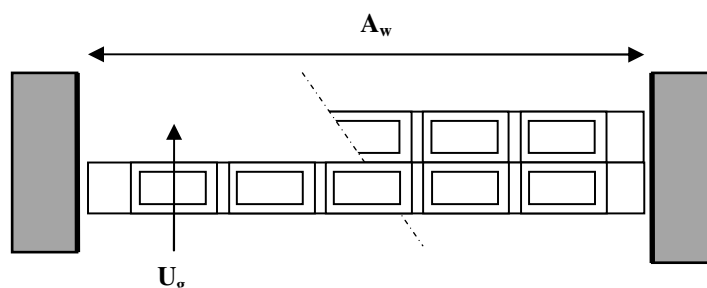


Figure 15 – Coupe horizontale

$$\Delta U = \frac{\Psi_1 \cdot L_1 + \Psi_2 \cdot L_2}{A_w}$$

Où

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

Ψ_1 est le coefficient de transmission linéique induit par le joint intermédiaire et les cloisons latérales des briques de verre, exprimé en W/(m.K).

Ψ_2 est le coefficient de transmission linéique induit par le cadre périphérique de la paroi, exprimé en W/(m.K).

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

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

A_w est la surface de l'ouverture dans laquelle est insérée la paroi en brique de verre, exprimée en m².

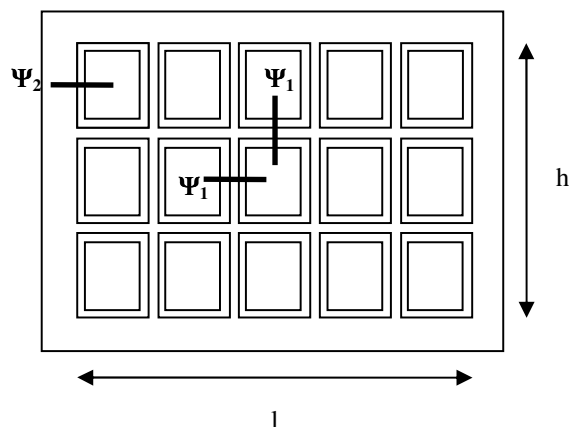


Figure 15 – Vue de face d'un panneau

Les coefficients Ψ_1 et Ψ_2 se calculent numériquement en 2D selon la méthode de calcul décrite au chapitre II (Méthodes de calcul des ponts thermiques) du chapitre A5 (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 :

$$U_w = \frac{\phi}{\Delta T A_w}$$

Où

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

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

2.2.8 – Présentation des résultats

2.2.8.1 – Expression des valeurs

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

2.2.8.2 – Justifications

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

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

2.3. – Calcul des éléments de la paroi vitrée

2.3.1 – Éléments de remplissage

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

2.3.1.1 – Vitrage isolant

La méthode de calcul détaillée du coefficient de transmission surfacique du vitrage isolant est décrite dans la norme NF EN 673

2.3.1.2 – Panneau opaque

Le calcul de U_p s'effectue en utilisant la formule (16) :

$$U_p = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad (16)$$

R_{si}, R_{se} Sont les résistances superficielles côtés intérieur et extérieur de la paroi, déterminées selon tableau VI du paragraphe 2.3.2.1 D2 du présent chapitre

R est la résistance thermique de la paroi, en $m^2.K/W$, déterminée comme étant la somme des résistances thermiques des couches composant la paroi y compris celles des lames d'air éventuelles : $R = \sum R_i$

A défaut d'un calcul détaillé de la résistance de la lame d'air conforme au chapitre A4 « parois opaques » les valeurs par défaut, données au tableau I peuvent être utilisées pour des lames verticales si leur épaisseur n'excède pas 300 mm.

2.3.2 – La menuiserie

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

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

Les programmes de calcul doivent être vérifiés conformément au paragraphe 4.2 de la norme NF EN ISO 10077-2.

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

2.3.2.1 – Méthode de calcul numérique des profilés

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

2.3.2.1.1 – La modélisation de la géométrie

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

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

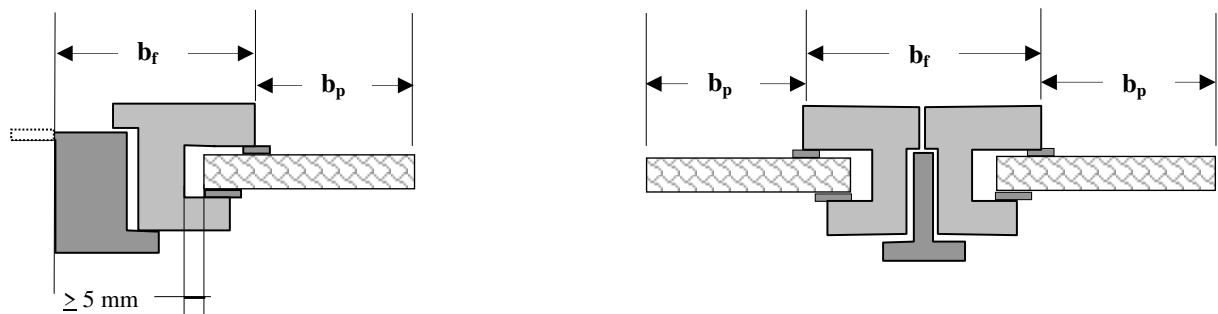


Figure 16 : Intégration du panneau opaque homogène

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

2.3.2.1.2 – Le maillage

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

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

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

2.3.2.1.3 – *Les caractéristiques thermiques*

2.3.2.1.3.1 – Matériaux

La conductivité thermique des matériaux doit être déterminée conformément au chapitre A2 « matériaux » des règles Th-U.

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

Les valeurs suivantes sont extraites du chapitre A2 « matériaux » et concernent des matériaux courants utilisés pour la fabrication des éléments de parois vitrées :

Groupe de matériau	Matériau	Masse volumique kg/m ³	Conductivité thermique W/(m.K)
Menuiserie	Alliage d'aluminium	2 800	160
	Acier	7 800	50
	Acier inox	7 900	17
	PVC (polyvinylchloride) rigide	1 390	0,17
	Bois :		
	Feuillus très lourds	$\rho > 870$	0,29
	Feuillus lourds	$750 < \rho \leq 870$	0,23
	Feuillus mi-lourds	$565 < \rho \leq 750$	0,18
	Feuillus légers	$435 < \rho \leq 565$	0,15
	Feuillus très légers hors balsa	$200 < \rho \leq 435$	0,13
	Résineux très lourds	$\rho > 610$	0,23
	Résineux lourds	$520 < \rho \leq 610$	0,18
	Résineux mi-lourds	$435 < \rho \leq 520$	0,15
	Résineux légers	$\rho \leq 435$	0,13
	Epicéa, Sapin blanc, Western Red Cedar		0,11
Verre	Acajou d'Afrique, Cèdre, Douglas, Framiré, Mélèze, Meranti light red, Peuplier blanc, Pin maritime, Pin noir d'Autriche et Laricio, Pin sylvestre, Western Hemlock		0,13
	Bossé clair, Châtaignier, Jequitiba, Limba / Fraké, Tauari, Tiama, Tola		0,15
	Iroko, Louro vermelho (Grignon franc), Makoré / Douka, Mengkulang (Palapi), Mengkulang (Palapi), Meranti dark red, Niangon, Sapelli, Sipo, Teck		0,16
	Bintangor, Bossé foncé, Chêne (rouvre et/ou pédonculé), Curupixa, Doussié, Eucalyptus globulus, Eucalyptus grandis, Frêne, Hêtre, Kosipo, Kotibé, Merbau, Moabi, Movingui, Robinier (faux Acacia)		0,18
Coupure thermique	Verre silico-sodo-calcique	2500	1,00
	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
Produits d'étanchéité	PVC rigide	1390	0,17
	Néoprène	1240	0,23
	EPDM	1150	0,25
	Silicone pure	1200	0,35
	PVC souple	1200	0,14
	Brosse en polyester	-	0,14
Produits de scellement du vitrage isolant	Mousse élastomère flexible	60-80	0,05
	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

Tableau III – Propriétés thermiques des matériaux

2.3.2.1.3.2 – Cavités d'air

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

2.3.2.1.3.2.1- Cavités non ventilées de forme rectangulaire

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

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

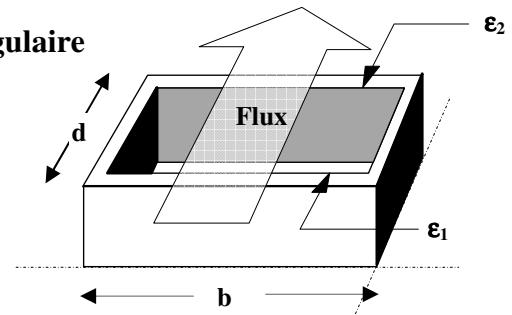


Figure 17 : Cavité d'air

où

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

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

b mm	h_a W/(m ² .K)	C₁ W/(m.K)	C₂ W/(m ² .K ^{4/3})	C₃ W/(m ² .K)
< 5	C ₁ /d	0,025	-	-
≥ 5 ΔT = 10 K	Max (C ₁ /d ; C ₂ .ΔT ^{1/3}) Max (C ₁ /d ; C ₃)	0,025 0,025	0,73 -	- 1,57

Tableau IV : Calcul de h_a

h_r est la part radiative du transfert thermique dans la cavité

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

où

σ est la constante de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

E est l'émittance entre surfaces opposées

(25)

$$E = \left[\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right]^{-1}$$

F est le facteur de forme d'une section rectangulaire

(26)

$$F = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b} \right)^2} - \frac{d}{b} \right)$$

T_m est la température moyenne de la cavité, en K

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

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

Tableau V – Emissivités normales des deux surfaces parallèles opposées entre barrettes

Dans les autres cas et en absence de valeurs justifiées de $T_m, \varepsilon_1, \varepsilon_2$, on prend les valeurs suivantes par défaut :

$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.9$ et $T_m = 283 \text{ K}$ ce qui conduit à

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

2.3.2.1.3.2.2- Cavités non ventilées de forme irrégulière

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

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

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

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

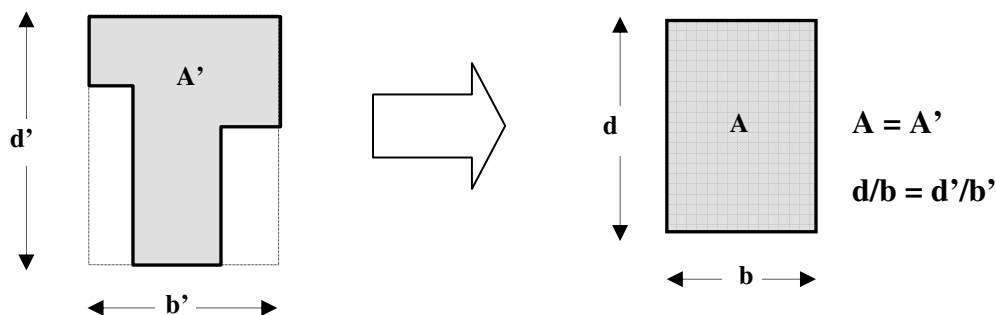


Figure 18 : Cavité équivalente

A aire de la cavité rectangulaire équivalente

d, b dimensions de la cavité rectangulaire équivalente

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

2.3.2.1.3.2.3- Cavités partiellement ventilées

La conductivité thermique équivalente d'une cavité partiellement ventilée doit être prise égale à 2 fois la conductivité équivalente d'une cavité non ventilée de mêmes dimensions.

2.3.2.1.3.2.4- Cavités fortement ventilées

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

Si l'aire développée interne de la cavité, dépasse 10 fois la largeur de l'unique interstice à travers lequel elle communique avec l'environnement, une résistance superficielle augmentée doit être utilisée (voir tableau VI).

2.3.2.1.4 – Les conditions aux limites

2.3.2.1.4.1 – Plans adiabatiques

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

2.3.2.1.4.2 – Températures d'ambiances et résistances superficielles

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

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

Côté intérieur

- R_{si} peut avoir une valeur normale ou augmentée selon que la surface correspondante soit exposée à l'environnement intérieur ou abritée par d'autres surfaces du modèle.
- T_i : température d'ambiance de référence

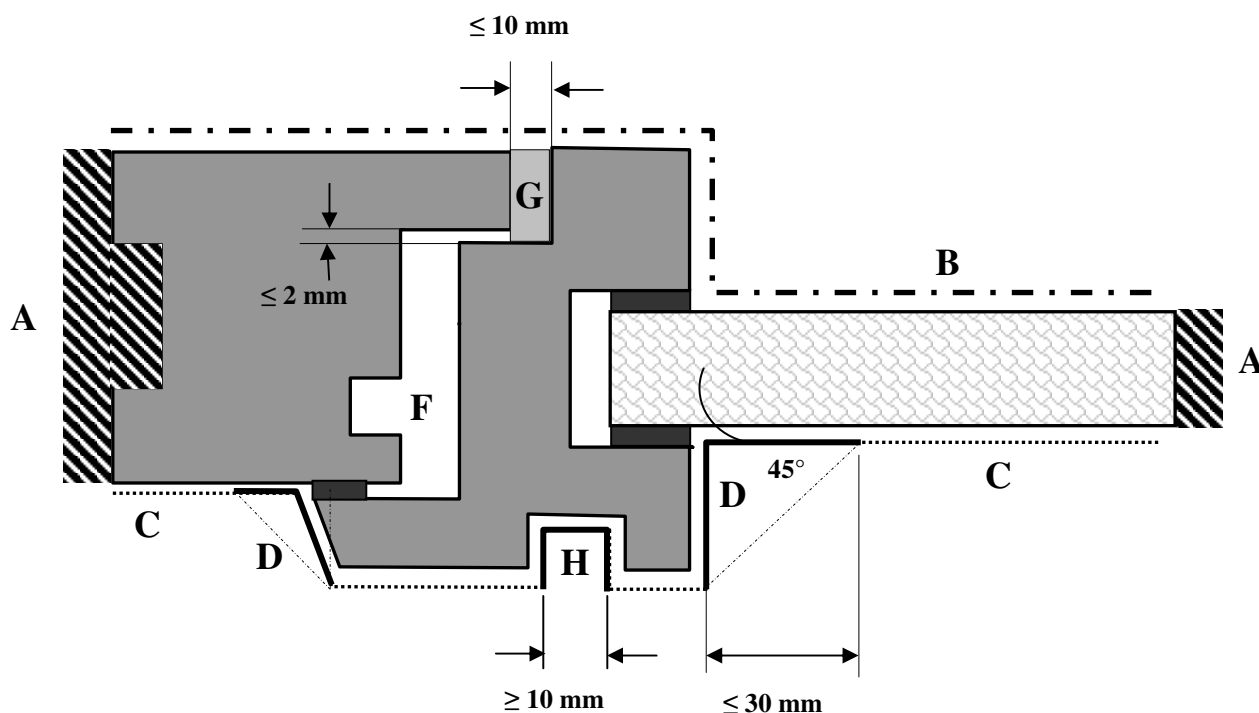
Côté extérieur

- R_{se} est constante sur toutes les surfaces du modèle en contact avec l'ambiance extérieure.
- T_e : température d'ambiance de référence

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

Tableau VI – Conditions aux limites

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



Légende :

Conditions aux limites (voir tableau VI)

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

Cavités d'air

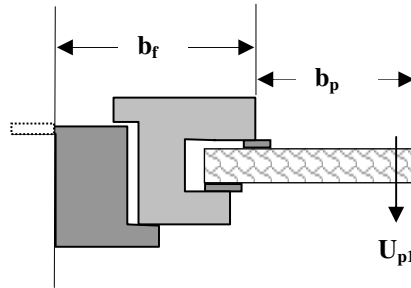
- F Cavité non ventilée (voir paragraphe 2.3.2.1.2.1.1 et 2.3.2.1.2.1.2)
- G Cavité partiellement ventilée (voir paragraphe 2.3.2.1.2.1.3)
- H Cavité fortement ventilée (voir paragraphe 2.3.2.1.2.1.4)

Figure 19 : Conditions aux limites et traitement des cavités, sur une menuiserie type.

2.3.2.1.5 – Calcul du coefficient U_f

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

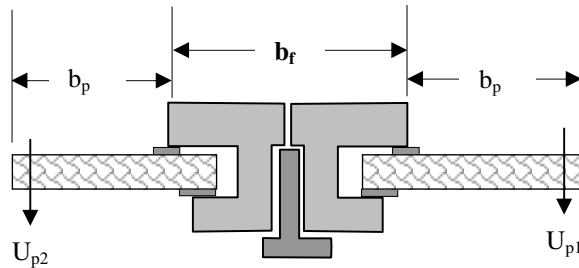
- Pour les profilés latéraux :



$$U_f = \frac{\frac{\Phi_T}{\Delta T} - U_{p1} b_p}{b_f} \quad (28) a$$

Figure 20-a : Profilés latéraux

- Pour les profilés centraux :



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

Figure 23-b : Profilés centraux

où

U_f

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

Φ_T

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

b_p

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

b_f

est la largeur projetée de la menuiserie, en m

ΔT

est la différence de température, en K

U_{p1}, U_{p2}

sont les coefficients surfaciques en partie centrale des panneaux p_1 ou p_2 respectivement, en $W/(m^2.K)$. Elles sont calculées d'après la formule suivante :

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

avec

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

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

e_p est l'épaisseur du panneau, en m

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

2.3.2.1.6 – Présentation des résultats

Les résultats doivent être impérativement accompagnés des informations suivantes :

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

2.3.2.2 – Méthode de calcul simplifiée des profilés

Profilés métalliques

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

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

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

b_{di} largeur intérieure développée de la menuiserie (la largeur de la menuiserie en contact avec l'air intérieur)

b_{de} largeur extérieure développée de la menuiserie (la largeur de la menuiserie en contact avec l'air extérieur)

b_{fi} largeur intérieure projetée de la menuiserie, en m

b_{fe} largeur extérieure projetée de la menuiserie, en m

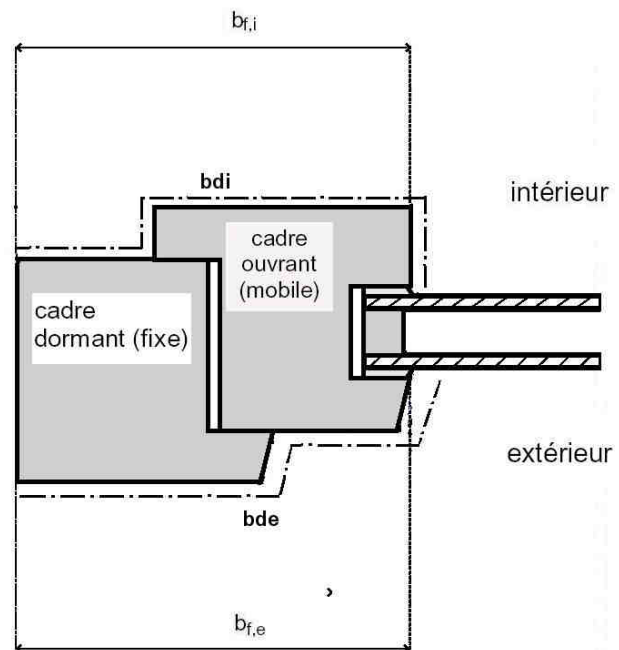


Figure 21 - Illustration des différentes largeurs d'un profilé

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

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

où

R_{si} est la résistance superficielle intérieure, égale à 0,13 m².K/W

R_{se} est la résistance superficielle extérieure, égale à 0,04 m².K/W

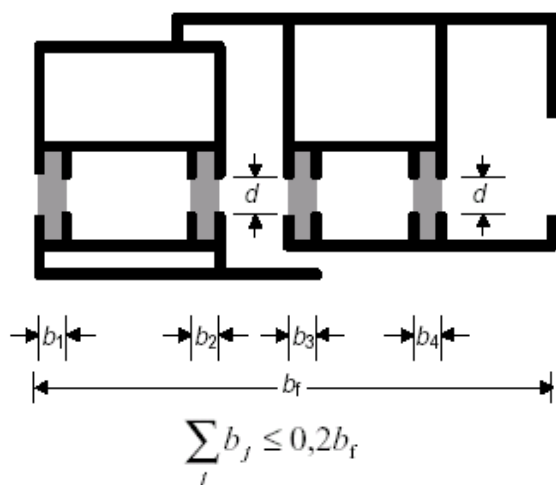
R_f est la résistance thermique de la menuiserie, exprimée en m².K/W, est donnée par :

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

où

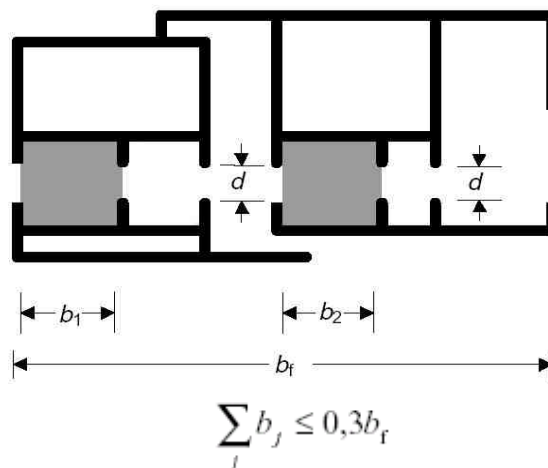
U_{f0} est le coefficient de transmission thermique de la menuiserie, exprimé en W/(m².K), il est obtenue de la façon suivante :

- 1) Pour les menuiseries métalliques sans coupure thermique : prendre $U_{f0} = 5,9$ W/(m².K).
- 2) Pour les menuiseries métalliques avec coupure thermique, correspondant aux sections illustrées sur la figure 25, sous réserve de restrictions sur la conductivité thermique et la largeur des barrettes de la coupure thermique, prendre U_{f0} sur la courbe de la figure 26.

Section de type 1:

Conductivité thermique des matériaux de la coupure thermique (voir tableau III) :

$$0,2 < \lambda \leq 0,3 \text{ W/(m.K)}$$

Section de type 2:

Conductivité thermique des matériaux de la coupure thermique (voir tableau III) :

$$0,1 < \lambda \leq 0,2 \text{ W/(m.K)}$$

Figure 22- Restrictions sur la conductivité thermique et la largeur des barrettes de la coupure thermique

où

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

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

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

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

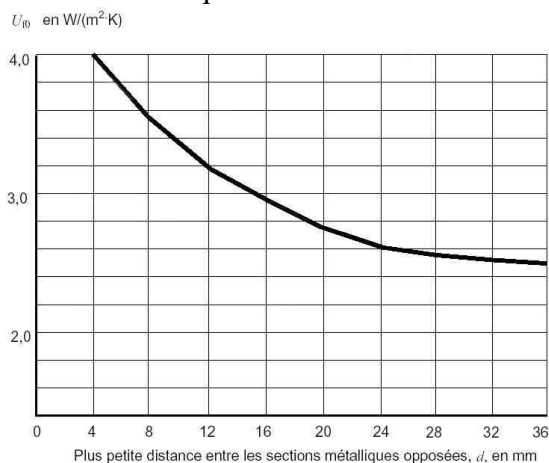


Figure 23 - Valeurs de U_{f0} pour les menuiseries métalliques avec coupure thermique

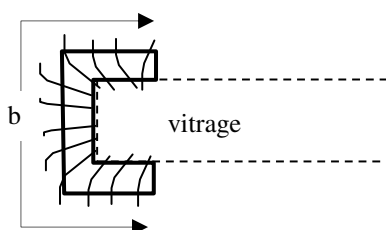
2.3.3 – La jonction : menuiserie – élément de remplissage

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

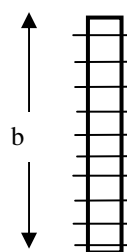
Le coefficient surfacique de la menuiserie est valable en absence de l'élément de remplissage.

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

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



Cavité réelle en fond de feuillure



Cavité rectangulaire équivalente

Figure 24 - Modélisation de la cavité à la jonction entre vitrage et profilé

Les formules de calcul de ψ sont les suivantes :

- Lorsque l'élément de remplissage est un vitrage :

$$\psi_g = \frac{\Phi_T}{\Delta T} - U_f b_f - U_g b_g$$

(32 a)

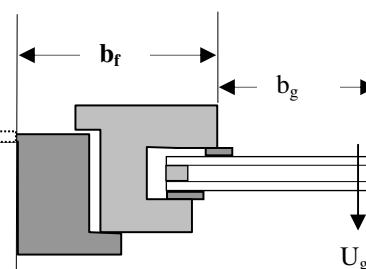


Figure 25-a : Vitrage

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

$$\psi_p = \frac{\Phi_T}{\Delta T} - U_f b_f - U_p b_p$$

(32 b)

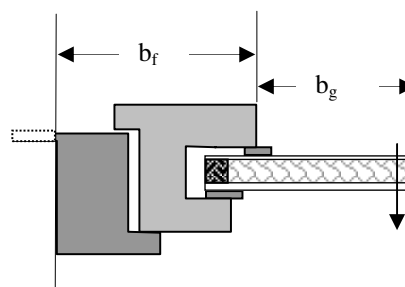


Figure 28-b : Panneau opaque

où

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

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

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

b_f est la largeur projetée de la menuiserie, en m

ΔT est la différence de température, en K

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

U_p peut être calculé selon paragraphe 2.3.1

.

2.3.4 – Fermetures

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

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

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

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

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

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

$$R_s = 0.0157 d - 0.00034 d^2 \quad (33)$$

où

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

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

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

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

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

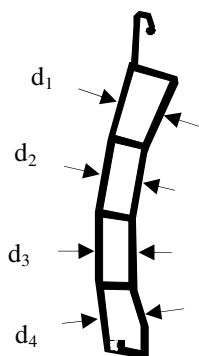


Figure 26 : Tablier PVC non rempli de mousse

2.3.5 – Coffres de volet roulant

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

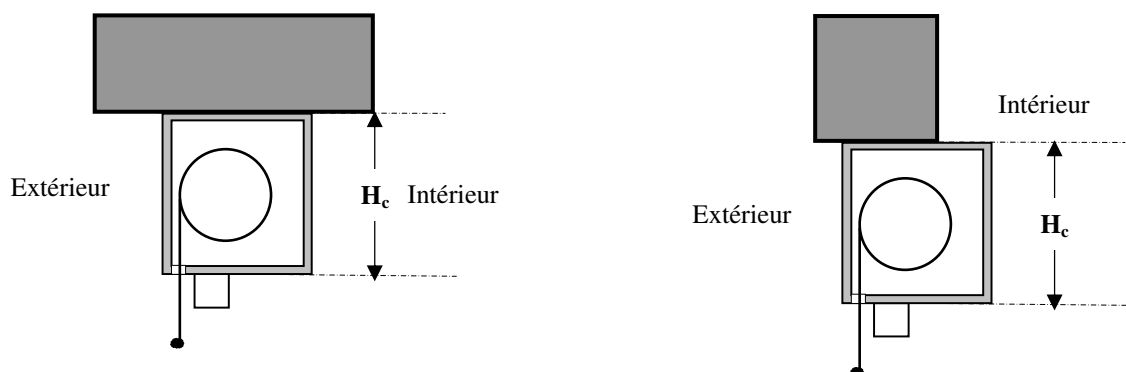


Figure 27 - Coffres sous dalle ou sous linteau

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 :

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

où

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

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

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

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

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

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

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

$$U_{c1} = \frac{\Phi}{H_c \times \Delta T} \quad (36)$$

où

- ϕ est le flux thermique en partie courante par mètre linéaire du coffre, en W/m
 H_c est la hauteur projetée du coffre, en m
 ΔT est la différence de température, en K

U_e se calcule d'après la formule suivante :

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

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.

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 :

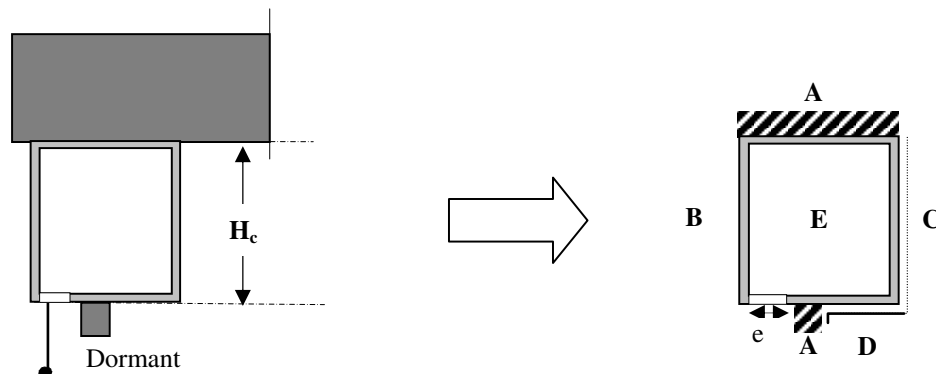


Figure 28 : Condition aux limites du coffre de volet roulant

Légende

- A** 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** Résistance superficielle extérieure, $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$
- C** Résistance superficielle intérieure, normale, $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$
- D** Résistance superficielle intérieure, augmentée, $R_{si} = 0,20 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$
- E** - Cavité partiellement ventilée si $e \leq 35\text{mm}$,
 - Ambiance extérieure et résistance superficielle intérieure (R_{si}, T_e), si $e > 35\text{mm}$
 - Cavité non ventilée si $e=0$.
- e** 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 voir paragraphe 2.3.2.1.3.2

2.3.5.2 – Coffre derrière linteau associé ou pas à une isolation complémentaire par l'intérieure ou par l'extérieure à la paroi:

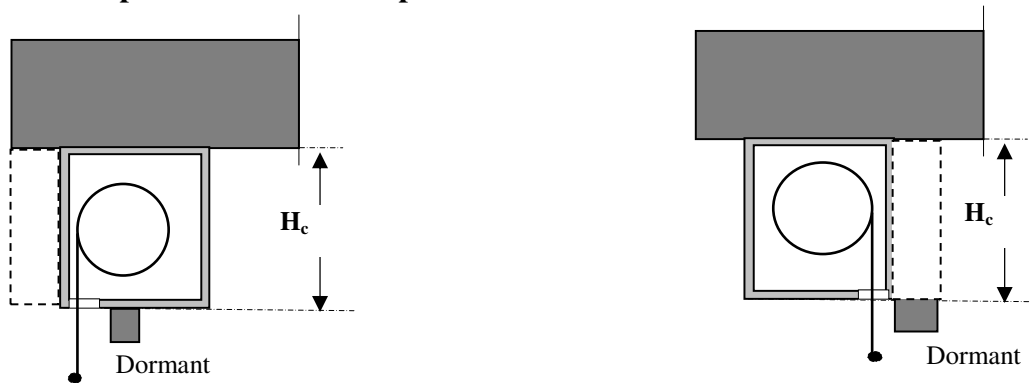


Figure 29 - Coffre derrière linteau associé à une isolation thermique intérieure ou extérieure

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 de U_c :

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

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

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

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

2.3.5.3 - Expression des résultats

- le résultat final de U du coffre ou de la paroi intégrant le coffre, doit être arrondi à deux chiffres significatifs,
- les résultats intermédiaires (U_e , U_{p1} , U_{c1}) doivent être arrondis à trois chiffres significatifs

A4 Parois opaques

1. Introduction

Ce chapitre donne les méthodes de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois opaques, et de leurs composants et fournit des valeurs par défaut établies conformément aux dites méthodes.

Les caractéristiques thermiques utiles, déterminées selon ce chapitre, servent notamment au calcul de la consommation d'énergie des bâtiments.

1.1 Références normatives

Le calcul des caractéristiques thermiques des éléments d'enveloppe du bâtiment, s'appuie principalement sur les travaux de la normalisation européenne.

NF EN ISO 7345	Isolation thermique - Grandeurs physiques et définitions
EN ISO 13789 :	Performance thermique des bâtiments - Coefficient de déperdition par transmission - Méthode de calcul.
NF EN ISO 10456	Matériaux et produits pour le bâtiment - Propriétés hygrothermiques - Valeurs utiles tabulées et procédures pour la détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles
NF EN ISO 6946	Composants et parois de bâtiments - Résistance thermique et coefficient de transmission thermique - Méthode de calcul
NF EN ISO 13370	Performance thermique des bâtiments - transfert de chaleur par le sol - méthodes de calcul.
NF EN ISO 10211	Ponts thermiques dans les bâtiments - Flux thermiques et températures superficielles - Calculs détaillés
NF EN ISO 8990	Isolation thermique - Détermination des propriétés de transmission thermique en régime stationnaire - Méthodes à la boîte chaude gardée et calibrée.

1.2 Définitions symboles et indices

1.2.1 Définitions

Dans le présent document, les définitions de la norme NF EN ISO 7345 et les définitions suivantes s'appliquent :

- **Local** : Un local est un volume totalement séparé de l'extérieur ou d'autres volumes par des parois fixes ou mobiles.
- **Espace chauffé** : local ou volume fermé chauffé à une température supérieure à 12 °C en période d'occupation.
- **Dimensions intérieures** : Dimensions mesurées de l'intérieur des locaux déterminés selon le chapitre A1 des règles Th-U.
- **Paroi opaque isolée** : Paroi opaque dont le coefficient de transmission thermique U n'excède pas $0.5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.
- **Paroi transparente ou translucide** : Paroi dont le facteur de transmission lumineux (hors protection mobile éventuelle) est égal ou supérieur à 0.05. Dans le cas contraire elle est dite opaque.
- **Paroi verticale ou horizontale** : Une paroi est dite verticale lorsque l'angle de cette paroi avec le plan horizontal est supérieur ou égal à 60 degrés, elle est dite horizontale lorsque cet angle est inférieur à 60 degrés.
- **Plancher bas** : Paroi horizontale donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face supérieure.
- **Plancher intermédiaire** : Paroi horizontale donnant, sur ses faces inférieures et supérieures, sur des locaux chauffés.
- **Plancher haut** : Paroi horizontale donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face inférieure.
- **Liaisons périphériques** : Liaisons situées au pourtour d'une paroi donnée.
- **Liaisons intermédiaires** : Liaisons situées à l'intérieur du pourtour d'une paroi donnée.
- **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 d'un kelvin entre les deux faces de ce matériau.
- **Coefficient de déperdition par transmission H , en W/K** : Flux thermique cédé par transmission entre l'espace chauffé et l'extérieur, pour une différence de température d'un

kelvin entre les deux ambiances. Les températures intérieure et extérieure, sont supposées uniformes.

- **Coefficient de transmission surfacique U , en $W/(m^2.K)$** : Flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température d'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 d'un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système.

- **Coefficient de transmission surfacique 'équivalent' d'une paroi U_e , en $W/(m^2.K)$** : Coefficient de transmission surfacique tenant compte à la fois des caractéristiques intrinsèques de la paroi et de son environnement (vide sanitaire, sous-sol non chauffé, sol)

- **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 d'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 d'un kelvin entre celles-ci.

- **Isolation répartie** : Isolation assurée exclusivement par l'épaisseur de la partie porteuse de la paroi (ex : blocs à perforations verticales en terre cuite, blocs en béton cellulaire).

- **Conductivité thermique « équivalente en $W/(m.K)$ »** : Rapport de l'épaisseur d'une paroi sur sa résistance thermique.

- **Maçonnerie courante** : Maçonnerie couramment utilisée (à base de béton ou de terre cuite) de conductivité thermique équivalente $\lambda_e \geq 0.7 W/(m.K)$

- **Couche thermiquement homogène** : Couche d'épaisseur constante ayant des propriétés thermiques uniformes ou considérées comme telles.

* Les couches à hétérogénéités faibles et régulières, peuvent être assimilée à une couche thermiquement homogène (ex. : murs en maçonnerie).

* Un plancher à entrevous non isolant peut être assimilé à une couche thermiquement homogène.

* Une lame d'air d'épaisseur constante est considérée comme une couche thermiquement homogène

- **Partie courante d'une paroi** : Partie constituée d'une ou de plusieurs couches superposées, thermiquement homogènes.

- **Pont thermique intégré** : Élément intégré dans la paroi, donnant lieu à des déperditions thermiques supplémentaires par rapport à la partie courante.

- **Dimension caractéristique d'une paroi** : Aire de la paroi, divisée par son demi-périmètre, en mètre.

- **Epaisseur 'équivalente' d'un système** : Epaisseur d'un matériau thermiquement homogène, ayant la même résistance thermique que ce système, en mètre.

- **Avis Technique** et Document Technique d'Application: on entend par Avis Technique et Document Technique d'Application tout avis formule conformément à l'arrêté du 21 mars 2012 relatif à la commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application sur des procédés matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction, délivré en vue d'établir l'aptitude à l'emploi des procédés, matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

1.2.2 Symboles

Symbole	Grandeur	Unité
U	Coefficient de transmission surfacique	W/(m ² .K)
ψ	Coefficient de transmission linéique	W/(m.K)
χ	Coefficient de transmission ponctuel	W/K
R	Résistance thermique	m ² .K/W
A	Surface	m ²
l, L	Longueur, largeur, linéaire	m
λ	Conductivité thermique	W/(m.K)
ΔT	Différence de température	K
b	Coefficient de réduction de la température	-
h	Coefficient d'échange	W/(m ² .K)
2D, 3D	Deux dimensions, trois dimensions	
B'	Dimension caractéristique	m
d	Epaisseur	m
v	Vitesse	m/s

1.2.3 Indices

e	Extérieur
i	Intérieur
s	Superficiel
T, t	Total
D	Direct
S	Sol
u	Non chauffé
e	"Equivalent"
iu	Intérieur vers local non chauffé
ue	Local non chauffé vers extérieur
a	Par convection, par conduction
r	Par rayonnement
m	Moyen
p	Relatif à la paroi
g	Relatif au sol
c	Partie courante

1.3 Conventions

1.3.1 Propriétés thermiques utiles des produits et matériaux de construction

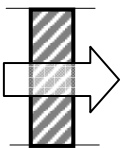
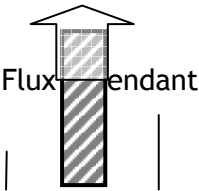
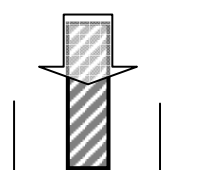
Les propriétés thermiques utiles des matériaux et produits de construction servant au calcul du coefficient de transmission surfacique des parois opaques sont déterminées selon le chapitre A2 'matériaux' chapitre 2.

1.3.2 Propriétés thermiques utiles des parois

Les propriétés thermiques utiles (R_u , U_u) des parois doivent être déterminées selon le présent chapitre A4 'parois opaques' à partir des propriétés thermiques utiles des matériaux et produits déterminées selon le chapitre A2 'matériaux', chapitre 2.

1.3.3. Résistances superficielles

La méthode de calcul des résistances superficielles est donnée au § 2.1.3, cependant et en absence d'informations spécifiques sur les conditions aux limites des surfaces planes, les résistances superficielles, intérieure (R_{si}) et extérieure (R_{se}), suivantes doivent être utilisées :

Paroi donnant sur : - l'extérieur - un passage ouvert - un local ouvert ⁽²⁾	R_{si} $m^2.K/W$	$R_{se}^{(1)}$ $m^2.K/W$	$R_{si} + R_{se}$ $m^2.K/W$
Paroi verticale Inclinaison $\geq 60^\circ$ Flux horizontal 	0,13	0,04	0,17
Paroi Horizontale Inclinaison $< 60^\circ$  Flux ascendant  Flux descendant	0,10	0,04	0,14
	0,17	0,04	0,21

⁽¹⁾ Si la paroi donne sur un local non chauffé, R_{si} s'applique des deux côtés

Tableau I

La valeur de R_{si} pour le flux ascendant s'applique aux planchers dotés d'un système de chauffage intégré et aux entrepôts frigorifiques.

⁽²⁾ Un local est dit ouvert si le rapport de la surface totale des ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à $0,005 m^2/m^3$. Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.

2. Méthodes de calcul

Ce chapitre donne les méthodes de calcul du coefficient de transmission surfacique utile U_p et de la résistance thermique utile R des parois opaques.

Une alternative aux méthodes de calcul décrites ci-après, est la mesure de la paroi à la boîte chaude gardée conformément à la norme NF EN ISO 8990. Toutefois, les résultats de mesure ne valent que pour l'échantillon mesuré.

La détermination du coefficient de transmission surfacique 'équivalent' U_e des parois en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire ou un sous-sol non chauffé, fait l'objet d'un calcul spécifique détaillé aux § 2.2.2 et 2.2.3.

Les coffres de volets roulants installés dans la baie, doivent être intégrés dans le calcul de la baie vitrée, les autres doivent être calculés comme des parois opaques. La méthode générale de calcul des coffres de volet roulant est donnée dans le chapitre A3 "Parois vitrées"

Dans le cas où une caractéristique thermique déclarée de la paroi est disponible, par référence aux normes européennes harmonisées ou aux évaluations techniques européennes, se reporter au chapitre A1 « Généralités » pour la détermination de la caractéristique thermique utile correspondante.

2.1 Résistance thermique R

La résistance thermique R d'une paroi est l'inverse du flux thermique à travers un mètre carré de paroi pour une différence de température d'un kelvin entre les deux faces de la paroi. R s'exprime en $m^2.K/W$ et elle est fonction des caractéristiques géométriques et thermiques des matériaux constituant la paroi.

A l'exception des résistances superficielles arrondies à deux décimales, les valeurs des résistances thermiques utilisées dans les calculs intermédiaires doivent être calculées avec au moins 3 décimales.

2.1.1 Couches thermiquement homogènes

2.1.1.1 Couches solides

Il s'agit de couches d'épaisseur constante, à hétérogénéités faibles et régulières pouvant être assimilées à des couches homogènes.

La résistance thermique d'une couche homogène se calcule d'après la formule suivante :

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad (1)$$

où

R_i est la résistance thermique de la couche i , en $m^2.K/W$

e_i est l'épaisseur de la couche i , mesurée d'après sa mise en œuvre dans la paroi, en mètre.

λ_i est la conductivité thermique utile de la couche i déterminée conformément au chapitre A2 "Matériaux", en $W/m.K$.

La résistance thermique d'un composant de bâtiment constitué de plusieurs couches thermiquement homogènes, superposées perpendiculaires au flux de chaleur, est la somme des résistances thermiques individuelles de chacune des couches.

$$R = \sum R_i \quad (2)$$

2.1.1.2 Espaces d'air

Certains espaces d'air peuvent être considérés comme des couches thermiquement homogènes. Cependant, leur résistance thermique doit faire l'objet d'un calcul spécifique tenant compte des phénomènes convectifs et radiatifs.

Les espaces d'air sont traités comme des milieux ayant une 'résistance thermique' parce que la transmission de chaleur par convection et par rayonnement y est à peu près proportionnelle à l'écart de température des faces qui les limitent.

Sont traitées dans ce chapitre :

- 1- Les lames d'air qui ont une largeur et une longueur toutes deux supérieures à 10 fois l'épaisseur mesurée dans le sens du flux de chaleur.
- 2- Les cavités d'air qui ont longueur ou une largeur comparable à leur épaisseur.
- 3- Certains espaces non chauffés (combles perdus, garages, buanderies, ...) lorsque leur enveloppe extérieure n'est pas isolée.

Si l'épaisseur d'une lame d'air varie, il convient d'utiliser sa valeur moyenne pour calculer sa résistance thermique.

Un traitement spécifique des espaces d'air, rencontrés dans les vitrages isolants et dans les profilés de menuiserie, est décrit dans le chapitre A3 "Parois vitrées".

2.1.1.2.1 Lames d'air

La méthode de calcul donnée ci-après s'applique aux lames d'air dont l'épaisseur mesurée dans la direction du flux de chaleur n'excède pas 0,3 m. En cas où cette épaisseur dépasse 0,3 m, le calcul de la déperdition doit être effectué en établissant un bilan thermique (coefficient b) comme décrit dans le chapitre A1 (Généralités).

2.1.1.2.1.1 Lames d'air non ventilées

Une lame d'air peut être considérée comme non ventilée s'il n'y a pas de disposition spécifique pour un écoulement d'air la traversant.

Une lame d'air non séparée de l'ambiance extérieure par une couche isolante mais comportant de petites ouvertures vers l'ambiance extérieure, peut aussi être considérée comme une lame d'air non ventilée, si ces ouvertures ne sont pas disposées de façon à permettre un écoulement d'air traversant et si elles ne dépassent pas :

- 500 mm² par mètre de longueur comptée horizontalement pour les lames d'air verticales
- 500 mm² par mètre de superficie pour les lames d'air horizontales

La résistance thermique d'une lame d'air non ventilée se calcule d'après la formule suivante :

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (3)$$

où

R_g est la résistance thermique de la lame d'air, en $m^2.K/W$

h_a est le coefficient de convection/conduction, il s'exprime en $W/(m^2.K)$ et se calcule d'après le tableau IV.

Sens du flux de chaleur	h_a $W/(m^2.K)$	
	$\Delta T \leq 5$	$\Delta T > 5$
Horizontal	Max (1,25 ; 0,025/d)	Max (0.73 $(\Delta T)^{1/3}$; 0,025/d)
Ascendant	Max (1,95 ; 0,025/d)	Max (1.14 $(\Delta T)^{1/3}$; 0,025/d)
Descendant	Max (0,12 $d^{-0.44}$; 0,025/d)	Max (0,09 $(\Delta T)^{0.187} d^{-0.44}$; 0,025/d)

Tableau II

d étant l'épaisseur de la lame, en mètre, dans la direction du flux de chaleur

ΔT est la différence de température dans la lame d'air entre les deux faces en vis-à-vis, en K

h_r est le coefficient de rayonnement ; il s'exprime en $W/(m^2.K)$ et se calcule comme suit :

$$h_r = E h_{ro}$$

où

E est l'émittance entre les deux surfaces limitant la lame d'air:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (4)$$

ε_1 et ε_2 sont les émissivités hémisphériques (corrigées) des surfaces limitant la lame d'air. La valeur utile de l'émissivité doit tenir compte de l'effet de ternissement des surfaces et d'accumulation de poussière avec le temps. A défaut de valeurs utiles déterminées selon le présent chapitre ou données dans un document d'Avis Technique, prendre $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$.

h_{ro} est le coefficient de rayonnement du corps noir (voir formule 3 et tableau IV)

Des valeurs par défaut de la résistance thermique, sont données au tableau V pour des lames d'air non ventilées dont les émissivités des deux faces sont au moins égales à 0,8. Les valeurs de la colonne "horizontal" s'appliquent également à des flux thermiques inclinés jusqu'à ± 30 % par rapport au plan horizontal.

Epaisseur de la lame d'air mm	Résistance thermique R ($m^2.K$)/W		
	Flux ascendant	Flux horizontal	Flux descendant
0	0,00	0,00	0,00

5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23
- Ces valeurs correspondent à une température moyenne de la lame d'air de 10° C - Les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire.			

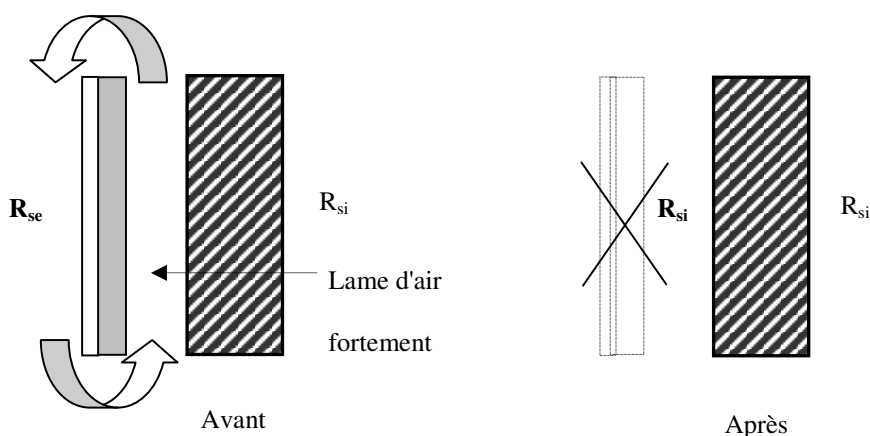
Tableau III

2.1.1.2.1.2 Lames d'air fortement ventilées

Il s'agit de lames d'air dont les orifices d'ouverture vers l'ambiance extérieure, sont supérieures ou égales à :

- 1 500 mm² par m de longueur comptée horizontalement pour les lames d'air verticales
- 1 500 mm² par m² de superficie pour les lames d'air horizontales

La résistance thermique totale d'une paroi contenant une lame d'air fortement ventilée s'obtient en négligeant la résistance thermique de la lame d'air et de toutes les couches situées entre la lame d'air et l'ambiance extérieure, et en appliquant une résistance thermique superficielle égale à R_{si} sur la surface intérieure de la lame d'air.

**Figure 30 : Traitement des parois contenant une lame d'air fortement ventilée**

2.1.1.2.1.3 Lames d'air faiblement ventilées

Il s'agit de lames d'air dans lesquelles il y a un écoulement d'air limité du fait d'ouvertures communiquant avec l'ambiance extérieure, comprises dans les plages suivantes :

- > 500 mm² mais < 1 500 mm² par m de longueur comptée horizontalement pour les lames d'air verticales,
- > 500 mm² mais < 1 500 mm² par m² de superficie pour les lames d'air horizontales

L'effet de la ventilation de la lame d'air dépend de la taille et de la répartition des orifices de ventilation.

La résistance thermique totale d'une paroi contenant une lame d'air faiblement ventilée peut être calculée comme suit :

$$R_T = \frac{1500 - A_V}{1000} R_{T,n} + \frac{A_V - 500}{1000} R_{T,v}$$

Où

$R_{T,n}$ est la résistance thermique totale de la paroi contenant une lame d'air supposée non ventilée (Voir §2.1.1.2.1.1) ;

$R_{T,v}$ est la résistance thermique totale de la paroi contenant une lame d'air supposée fortement ventilée (Voir §2.1.1.2.1.2).

2.1.1.2.2 Cavités d'air

2.1.1.2.2.1 Cavités d'air non ventilées

Il s'agit de petits espaces d'air dont la largeur est inférieure à 10 fois l'épaisseur ($b < 10 d$).

La résistance thermique R_g d'une cavité d'air est donnée par la formule suivante :

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r}$$

avec

$$h_r = \frac{h_{r0}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 2 + \frac{2}{\left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b}\right)^2} - \frac{d}{b}\right)}} \quad (5)$$

où

d est l'épaisseur de la cavité, mesuré dans la direction du flux de chaleur, en mètre

b est la largeur de la cavité prise sur la plus petite section transversale, en mètre

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ sont les émissivités hémisphériques des surfaces, côtés chaud et froid de l'espace d'air

h_{r0} est le coefficient de rayonnement du corps noir (voir formule 10 et tableau V)

h_a est le coefficient de convection/conduction, il s'exprime en $W/(m^2.K)$ et se calcule d'après le tableau VI.

Pour une cavité de forme non rectangulaire, prendre la résistance thermique d'un vide rectangulaire ayant la même superficie et le même rapport de forme (b/d) que la cavité réelle.

2.1.1.2.2.2 Cavités d'air ventilées

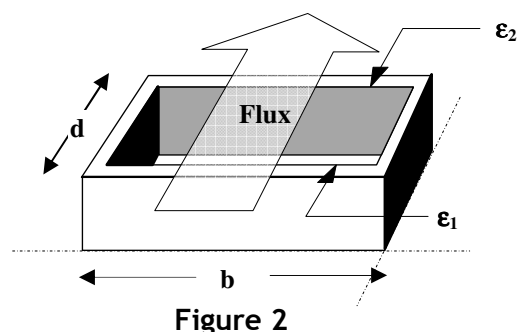


Figure 2

Pour une cavité d'air fortement ventilée tel que défini au §2.1.1.2.1.2, suivre la procédure spécifiée au §2.1.1.2.1.2.

Pour une cavité d'air faiblement ventilée tel que défini au §2.1.1.2.1.3, suivre la procédure spécifiée au §2.1.1.2.1.3.

2.1.1.2.3. Espaces non chauffés

Lorsque l'enveloppe extérieure de certains espaces non chauffés n'est pas isolée, les méthodes simplifiées suivantes peuvent s'appliquer en assimilant l'espace non chauffé à une résistance thermique équivalente (une méthode plus détaillée pour la prise en compte des déperditions à travers les espaces non chauffés est donnée au chapitre A1 des règles Th-U).

2.1.1.2.3.1 Combles non aménagés

En cas d'un plancher haut isolé situé sous un comble non aménagé, l'espace d'air du comble ainsi que la toiture, peuvent être assimilés à une couche d'air thermiquement homogène dont la résistance thermique est donnée ci-après :

Caractéristiques du toit		R_u
1	Toit à tuiles sans écran, panneaux ou équivalent	0,06
2	Toiture à base de longues feuilles mécaniques, ou toiture en tuiles avec écran ou panneaux équivalents sous les tuiles	0,2
3	Idem 2, mais avec un revêtement à faible émissivité en sous face de la toiture	0,3
4	Toit doublé de panneaux et écran	0,3
R_u comprend la résistance thermique de l'espace d'air et la résistance de la toiture en pente. Elle ne comprend pas la résistance superficielle R_{se} de la toiture et elle ne doit pas être prise en compte pour le calcul des caractéristiques intrinsèques du plancher sous comble.		

Tableau IV - Résistance thermique équivalente des combles

2.1.1.2.3.2 Autres espaces

Lorsque le bâtiment a un petit espace non chauffé contigu (garages, abris, buanderies, ..), l'ensemble constitué de l'espace non chauffé et des composants de construction externes, peut être assimilé à une couche homogène ayant une résistance thermique R_u donnée par :

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_K (A_{e,k} U_{e,k}) + 0.33 \times nV} \quad (6)$$

où

A_i est la surface totale des composants séparant l'intérieur du local non chauffé, en m^2

$A_{e,k}$ est la surface de l'élément k séparant le local non chauffé de l'environnement extérieur à l'exception des planchers bas en contact avec le sol, en m^2

$U_{e,k}$ est le coefficient de transmission thermique de l'élément k entre l'espace non chauffé et l'environnement extérieur, en $W/(m^2.K)$

n est le taux de renouvellement d'air du local non chauffé, en volume d'air par heure

V est le volume du local non chauffé, en m^3

Si les détails constructifs des parois extérieures du local non chauffé, ne sont pas connus, prendre $U_{e,k} = 2 W/(m^2.K)$ et $n = 3$ volumes d'air par heure.

2.1.2 Couches thermiquement hétérogènes

Il s'agit de couches présentant une forte hétérogénéité due principalement à la présence simultanée de deux ou plusieurs matériaux ayant des conductivités thermiques différentes. Le transfert de chaleur par conduction à travers une couche thermiquement hétérogène est généralement de nature bidimensionnelle sauf cas particuliers où l'hétérogénéité est régulière et le transfert est mono dimensionnel.

La résistance thermique R d'une couche hétérogène se calcule d'après la formule suivante :

$$R = \frac{1}{U_p} - R_{si} - R_{se} \quad (7)$$

R_{si} , R_{se} Sont les résistances superficielles de la paroi côtés intérieur et extérieur, déterminées selon § 2.1.3, en $m^2.K/W$.

U_p est le coefficient de transmission surfacique en $W/(m^2.K)$ de la couche, déterminé d'après le § 2.2.

2.1.3 Résistance superficielle

2.1.3.1 Surfaces planes

La résistance superficielle R_s se calcule d'après la formule suivante :

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (8)$$

où

h_r est le coefficient d'échanges par rayonnement, en $W/(m^2.K)$

avec

$$h_r = \mathcal{E} h_{ro} \quad (9)$$

$$h_{ro} = 4 \sigma T_m^3 \quad (10)$$

où

$\mathcal{E}$ est l'émissivité hémisphérique (corrigée) de la surface qui tient compte de l'effet de ternissement des surfaces et d'accumulation de poussière avec le temps. A défaut de valeurs données dans les documents d'Avis Techniques ou déterminées selon le présent chapitre, prendre $\mathcal{E} = 0,9$

h_{ro} est le coefficient de rayonnement d'un corps noir (voir tableau V)

σ est la constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W/(m^2.K^4)$)

T_m est la température moyenne de la surface et des surfaces environnantes, en

K

Température moyenne T_m °C	h_{ro} W/(m ² .K)
-10	4,1

0	4,6
10	5,1
20	5,7
30	6,3

Tableau V - Valeurs de h_{ro}

h_a est le coefficient d'échanges par convection, en $W/(m^2.K)$

- Sur les faces intérieures d'une paroi ou les faces extérieures adjacentes à une lame d'air fortement ventilée :

Flux de chaleur	h_a $W/(m^2.K)$
Ascendant	5,0
Horizontal	2,5
Descendant	0,7

Tableau VI - Valeurs de h_c sur les faces intérieures

- Sur les faces extérieures :

$$h_a = 4 + 4 v \quad (11)$$

où v est la vitesse du vent à proximité de la surface en m/s

Des valeurs de la résistance superficielle côté extérieur R_{se} , sont données dans le tableau suivant en fonction de la vitesse v du vent.

Vitesse du vent m/s	R_{se} $m^2.K/W$
1	0,08
2	0,06
3	0,05
4	0,04
5	0,04
7	0,03
10	0,02

Tableau VII - Valeurs de R_{se} en fonction de la vitesse du vent

NOTE :

Les valeurs des résistances superficielles intérieures, R_{si} et extérieures, R_{se} , données au § I.3.2 ont été calculées avec une émissivité corrigée $\mathcal{E} = 0,9$ et h_{ro} calculé à $20^\circ C$ côté intérieur et à $0^\circ C$ côté extérieur pour une vitesse de vent de 4 m/s.

2.1.3.2 Surfaces non planes

Les parties en saillie par rapport au plan des parois, telles que des poteaux de structure, peuvent être ignorées pour le calcul de la résistance thermique totale si elles sont constituées d'un matériau dont la conductivité thermique n'excède pas 2,5 W/(m.K).

Si la partie saillante est constituée d'un matériau de conductivité thermique supérieure à 2,5 W/(m.K), et n'est pas isolée, la résistance superficielle, à appliquer à l'aire projetée A_p de la paroi, doit être corrigée dans le rapport de l'aire projetée de la partie saillante à son aire développée réelle A .

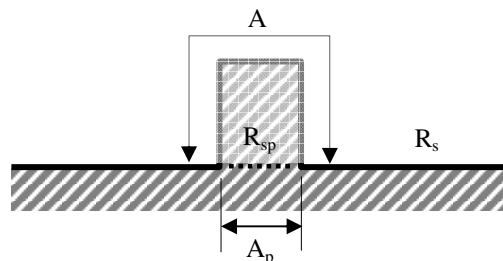


Figure 3

$$R_{sp} = R_s \frac{A_p}{A} \quad (12)$$

où

R_s est la résistance superficielle d'un composant plan

A_p est l'aire projetée de la partie saillante

A est l'aire développée réelle de la partie saillante

2.2 Coefficient de transmission surfacique U

Le coefficient de transmission surfacique U_p d'une paroi est le flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température d'un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre de cette paroi. Il s'exprime en W/(m².K) et il est fonction des caractéristiques géométriques et thermiques des matériaux et des résistances superficielles.

Les valeurs des coefficients surfaciques utilisées dans des calculs intermédiaires de parois opaques, doivent être calculées avec au moins 3 décimales. Les valeurs de U servant au calcul de la consommation d'énergie dans le bâtiment doivent être exprimées avec deux chiffres significatifs.

2.2.1 Parois donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé

Une paroi qui donne sur l'extérieur ou sur un local non chauffé (à l'exception des vides sanitaires et des sous-sols non chauffés) est caractérisée par son coefficient de transmission surfacique intrinsèque U_p .

Les déperditions à travers les parois en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire ou un sous-sol non chauffé, sont exprimées à l'aide d'un coefficient de transmission surfacique 'équivalent' U_e calculé en fonction des caractéristiques intrinsèques de la paroi et de son environnement (voir § 2.2.2 et 2.2.3).

2.2.1.1 Paroi comportant des couches d'épaisseur uniforme

Le coefficient de transmission surfacique global des parois courantes, U_p en $W/(m^2.K)$, se calcule d'après la formule suivante :

$$U_p = U_c + \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 \quad (13)$$

Avec

U_c : coefficient de transmission surfacique en partie courante de la paroi :

$$U_c = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad (14)$$

R_{si}, R_{se} Sont les résistances superficielles côtés intérieur et extérieur de la paroi, déterminées selon § 1.3.2 du présent chapitre

R est la résistance thermique de la paroi, en $m^2.K/W$, déterminée comme étant la somme des résistances thermiques des couches composant la paroi y compris celles des lames d'air éventuelles : $R = \sum R_i$

ΔU_1 : impact des ponts thermiques intégrés à la paroi

$$\Delta U_1 = \frac{\sum_i \psi_i L_i + \sum_j \chi_j}{A} \quad (15)$$

ψ_i est le coefficient linéique du pont thermique intégré i , déterminé selon le présent chapitre, exprimé en $W/(m.K)$.

χ_j est le coefficient ponctuel du pont thermique intégré j , exprimé en W/K .

L_i est le linéaire du pont thermique intégré i , en mètre.

A est la surface totale de la paroi, en m^2 .

Les ponts thermiques intégrés ψ_i et χ_j peuvent être déterminés d'après les valeurs tabulées dans le présent chapitre, données par type de procédé.

En l'absence de valeurs tabulées, l'impact des ponts thermiques intégrés peut être déterminé par calcul numérique, conformément à la méthode suivante:

$$\Delta U_1 = \frac{\phi}{A \times \Delta T} - U_c \quad (16)$$

Où

ϕ est le flux total exprimé en W (calcul 3D) ou en W/m (calcul 2D).

A est la dimension du modèle représentant un élément répétitif de la paroi, traversée par le flux, en m^2 (3D) ou en m (2D)

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

Cette formule s'applique à toutes les parois notamment celles où la distinction entre partie courante et ponts thermiques intégrés est difficile (paroi à forte hétérogénéité thermique).

Dans le cas particulier d'une paroi comportant des fixations ponctuelles sans contact direct entre ces fixations et un ou des parement(s) métallique(s) situés de part et d'autre de la fixation, la correction du coefficient de transmission thermique de la paroi concernée peut être déterminée selon la formule suivante :

$$\Delta U_1 = 0.8 \times \frac{d_1}{d_0} \times \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \times \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \quad (17)$$

Avec

- d_1 longueur de la fixation, mesurée dans la couche isolante, en mètre
- d_0 épaisseur de la couche d'isolation pénétrée par la fixation, en mètre
- λ_f conductivité thermique de la fixation, en W/(m.K)
- n_f nombre de fixations par mètre carré
- A_f aire de la section droite de la fixation, en m²
- R_1 résistance thermique de la couche isolante pénétrée par les fixations, en m²K/W
- $R_{T,h}$ résistance thermique totale de la paroi, déterminée sans tenir compte des ponts thermiques intégrés, en m².K/W

ΔU_2 : impact des circulations d'air au sein des parois ventilées sur l'extérieur :

$$\Delta U_2 = \Delta U'' \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

Avec

- R_1 résistance thermique de la couche isolante contenant les cavités, en m²K/W
- $R_{T,h}$ résistance thermique totale de la paroi, déterminée sans tenir compte des ponts thermiques intégrés, en m².K/W
- $\Delta U''$ correction relative à la présence de cavités et de lames d'air dans la paroi, obtenue d'après le tableau ci-après, en W/(m².K)

Trois niveaux de correction sont identifiés :

Niveau	Configuration des cavités et lames d'air parasites dans la paroi ventilée sur l'extérieure	$\Delta U''$
1	Aucune cavité ⁽¹⁾ ou lame d'air ⁽²⁾ n'est présente dans la paroi	0,00
2	Seules des cavités d'air ponctuelles ou linéaires, traversant la totalité ou une partie de l'épaisseur de l'isolation, sont présentes dans la paroi	0,01
3	Des cavités d'air (niveau 2) communiquant avec une ou plusieurs lames d'air, parallèles à la paroi et située à dans l'épaisseur et/ou en contact avec la face chaude de l'isolation.	0,04

⁽¹⁾ Une cavité d'air est perpendiculaire au plan de l'isolation. Elle pénètre dans l'épaisseur de la couche isolante.

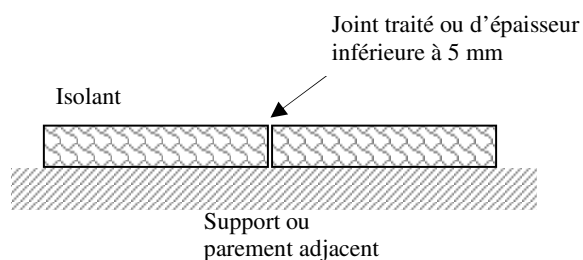
⁽²⁾ Une lame d'air est parallèle au plan de l'isolation. Elle se situe à l'interface entre deux couches de la paroi.

Exemples :**a - Exemples de procédés constructifs concernés par la correction ΔU_2**

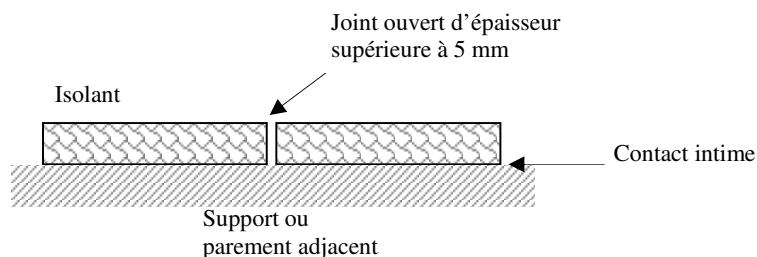
Rampants de toitures, bardages extérieurs ventilés, couvertures double peau, vêtements et vêtages.

b - Exemples de niveau 1

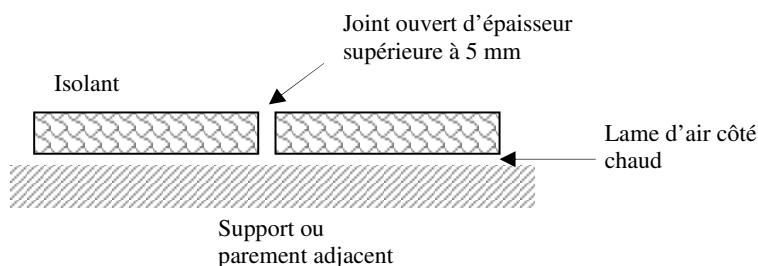
La surface intérieure de l'isolation est en contact intime avec la couche adjacente située côté intérieur (membrane pare vapeur, parement, panneau de contreventement, ossature, ...). Les joints entre panneaux isolants sont soit faibles ($e \leq 5$ mm) soit traités (tenons mortaise, remplissage mastic):

**Figure 4****c - Exemples de niveau 2**

La surface intérieure de l'isolation est en contact intime avec la couche intérieure adjacente (membrane, parement, panneau de contreventement, ossature). Les joints entre panneaux isolants sont supérieurs à 5mm.

**Figure 5****d - Exemples de niveau 3**

La surface intérieure de l'isolation a un contact irrégulier avec la couche adjacente située côté intérieur (membrane, parement, panneau de contreventement, ossature, ...). Des cavités entre panneaux isolants communiquent avec les lames d'air parasites et permettent ainsi la circulation de l'air entre les côtés chaud et froid de l'isolation.

**Figure 6**

ΔU_3 : impact de l'écoulement des eaux de pluie entre l'isolant et la membrane d'étanchéité pour les toitures terrasses avec isolation inversée :

$$\Delta U_3 = p f x \left(\frac{R_1}{R_T} \right)^2 \quad (18)$$

Avec

- P Intensité moyenne des précipitations pendant la saison de chauffage, en mm/jour (voir tableau VIII)
- f Coefficient d'écoulement donnant la fraction de p atteignant la membrane d'étanchéité
- x Coefficient d'augmentation de la déperdition de chaleur provoquée par l'écoulement des eaux de pluie sur la membrane
- R_1 Résistance thermique de la couche isolante située au-dessus de la membrane d'étanchéité
- R_T Résistance thermique totale de la toiture avant l'application de la correction, en $m^2.K/W$

Note 1 : Pour les toitures terrasses avec couche unique d'isolation comportant des joints secs avec protection lourde ouverte à l'extérieur prendre $f x = 0.04$. Pour d'autres configurations se référer aux Avis Techniques correspondantes.

Note 2 : Le calcul de la résistance thermique de l'isolant en toiture inversé doit tenir compte d'une majoration de sa conductivité thermique due à un taux d'humidité généralement supérieur à celui couramment rencontré dans les autres techniques. Le mode de détermination du facteur de conversion correspondant est donné au chapitre A2.

Département			Département		
n°	Nom	p mm/j	n°	Nom	p mm/j
01	AIN	2,12	49	MAINE-ET-LOIRE	1,86
02	AINNE	1,89	50	MANCHE	1,84
03	ALLIER	1,84	51	MARNE	1,58
04	ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE	2,03	52	HAUTE-MARNE	2,25
05	HAUTES-ALPES	2,03	53	MAYENNE	1,93
06	ALPES-MARITIMES	2,74	54	MEURTHE-ET-MOSELLE	2,00
07	ARDECHE	2,62	55	MEUSE	2,25
08	ARDENNES	1,89	56	MORBIHAN	2,90
09	ARIEGE	2,85	57	MOSELLE	2,08
10	AUBE	1,81	58	NIEVRE	2,20
11	AUDE	2,22	59	NORD	1,84
12	AVEYRON	2,19	60	OISE	1,83
13	BOUCHES-DU-RHONE	1,81	61	ORNE	2,24
14	CALVADOS	2,09	62	PAS-DE-CALAIS	1,67
15	CANTAL	1,93	63	PUY-DE-DOME	1,19
16	CHARENTE	2,40	64	PYRENEES-ATLANTIQUES	3,42
17	CHARENTE-MARITIME	2,42	65	HAUTES-PYRENEES	3,33
18	CHER	1,94	66	PYRENEES-ORIENTALES	1,87
19	CORREZE	1,93	67	BAS-RHIN	1,33
20	CORSE	2,41	68	HAUT-RHIN	1,31
21	COTE-D-OR	1,89	69	RHONE	2,12
22	COTES-D-ARMOR	2,37	70	HAUTE-SAONE	2,86
23	CREUZE	1,93	71	SAONE-ET-LOIRE	2,21
24	DORDOGNE	1,99	72	SARTHE	1,99

25	DOUBS	3,00	73	SAVOIE	2,91
26	DROME	2,62	74	HAUTE-SAVOIE	2,91
27	EURE	1,59	75	VILLE-DE-PARIS	1,69
28	EURE-ET-LOIR	1,59	76	SEINE-MARITIME	2,24
29	FINISTERE	2,89	77	SEINE-ET-MARNE	1,81
30	GARD	2,44	78	YVELINES	1,69
31	HAUTE-GARONNE	1,83	79	DEUX-SEVRES	1,86
32	GERS	1,99	80	SOMME	2,04
33	GIRONDE	2,90	81	TARN	1,83
34	HERAULT	2,31	82	TARN-ET-GARONNE	1,99
35	ILLE-ET-VILAINE	1,93	83	VAR	2,42
36	INDRE	2,06	84	VAUCLUSE	2,01
37	INDRE-ET-LOIRE	1,98	85	VENDEE	2,32
38	ISERE	2,58	86	VIENNE	2,07
39	JURA	2,21	87	HAUTE-VIENNE	3,01
40	LANDES	2,87	88	VOSGES	2,00
41	LOIR-ET-CHER	1,99	89	YONNE	1,72
42	LOIRE	1,56	90	TERRITOIRE-DE-BELFORT	3,06
43	HAUTE-LOIRE	1,56	91	ESSONNE	1,69
44	LOIRE-ATLANTIQUE	2,48	92	HAUTS-DE-SEINE	1,69
45	LOIRET	1,78	93	SEINE-SAINT-DENIS	1,69
46	LOT	2,50	94	VAL-DE-MARNE	1,69
47	LOT-ET-GARONNE	1,99	95	VAL-D-OISE	1,69
48	LOZERE	1,56			

Tableau VIII - Précipitations moyennes en mm/jour

2.2.1.2 Paroi comportant des couches d'épaisseur variable

Il s'agit notamment des formes de pente présentes en toitures terrasses. Les formules ci-après ne sont valables que pour des pentes ne dépassant pas 5%. Pour des pentes supérieures des méthodes numériques peuvent être utilisées.

Pour calculer le coefficient de transmission surfacique d'une paroi comportant différentes parties élémentaires à épaisseurs variables, procéder comme suit :

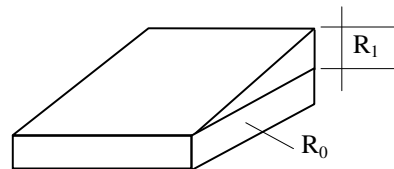
1 - Calculer le coefficient U_i de chaque partie élémentaire de surface A_i en utilisant la formule correspondante donnée dans les sections (a) à (d)

2 - Calculer le coefficient de transmission surfacique global pour la paroi en utilisant la formule suivante :

$$U = \frac{\sum U_i A_i}{\sum A_i}$$

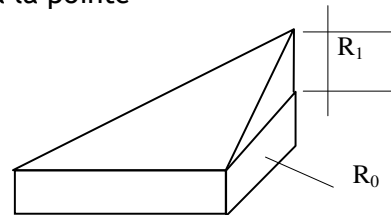
a - surface rectangulaire

$$U = \frac{1}{R_1} \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right)$$



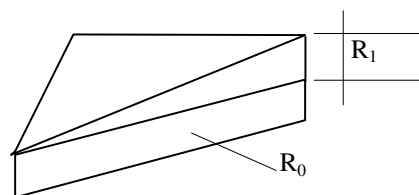
b - surface triangulaire ayant l'épaisseur maximale à la pointe

$$U = \frac{2}{R_1} \left[\left(1 + \frac{R_0}{R_1} \right) \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) - 1 \right]$$



c - surface triangulaire ayant l'épaisseur minimale à la pointe

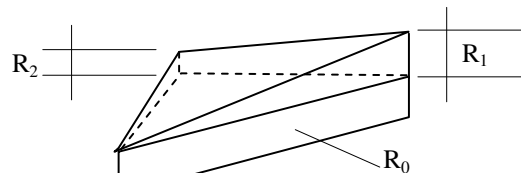
$$U = \frac{2}{R_1} \left[1 - \frac{R_0}{R_1} \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) \right]$$



d - surface triangulaire ayant une épaisseur différente à chaque sommet

$$U = 2 \left[\frac{R_0 R_2 \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) - R_0 R_1 \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) + R_1 R_2 \ln \left(\frac{R_0 + R_1}{R_0 + R_2} \right)}{R_1 R_2 (R_1 - R_2)} \right]$$

Avec



- R_1 Résistance thermique maximale de la couche d'épaisseur variable comme montré sur les figures ci-après, en $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$ ($R_1 \neq 0 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$)
- R_0 Résistance thermique totale des autres couches inférieures d'épaisseurs homogènes, y compris les résistances superficielles de la paroi, en $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$ ($R_0 \neq 0 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$)
- R_2 Résistance thermique située au niveau du troisième sommet en cas d'une surface triangulaire ayant une épaisseur différente à chaque sommet comme montré sur la figure en (d), en $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$

2.2.2 Parois en contact avec le sol

Les déperditions à travers les parois en contact avec le sol ne dépendent pas uniquement des caractéristiques intrinsèques de la paroi, mais aussi du flux de chaleur à travers le sol. Elles sont exprimées au moyen d'un coefficient surfacique 'équivalent' dont la méthode de calcul est donnée ci-après (pour plus d'information se référer à la norme NF EN ISO 13370).

2.2.2.1 Paramètres de calcul

2.2.2.1.1 Dimension caractéristique du plancher

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2} P} \quad (19)$$

où

- B' est la dimension caractéristique du plancher, en mètre
- A est l'aire du plancher bas en contact avec le sol, en mètre carré
- P est le périmètre du plancher bas mesuré du côté intérieur, en mètre

2.2.2.1.2 Epaisseur équivalente du plancher en contact avec le sol

$$d_t = w + \lambda_s (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (20)$$

où

- d_t est l'épaisseur 'équivalente' du plancher, égale à l'épaisseur du sol ayant la même résistance thermique totale que ce plancher, en mètre.
- w est l'épaisseur totale du mur, toutes couches comprises, en mètre.
- λ_s est la conductivité thermique du sol non gelé déterminée selon § 1.3.3 du chapitre A2 (Matériaux), en W/(m.K)
- R_f est la résistance thermique du plancher en contact avec le sol y compris l'effet des ponts thermiques intermédiaires calculées selon le § 2.2.2.1.5 en m².K/W
- R_{si} , R_{se} sont les résistances superficielles de la paroi côtés intérieur et extérieur, déterminées selon § 2.1.3, en m².K/W.

2.2.2.1.3 Epaisseur équivalente des murs enterrés

$$d_w = \lambda_s (R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (21)$$

où

- d_w est l'épaisseur 'équivalente' du mur enterré, égale à l'épaisseur du sol ayant la même résistance thermique totale que le mur, en mètre.
- R_w est la résistance thermique du mur enterré toutes couches comprises, en m².K/W.

2.2.2.1.4 Autres paramètres

- D est la largeur ou la profondeur de l'isolation périphérique respectivement horizontale ou verticale, en m.
- R_n est la résistance thermique de l'isolation périphérique horizontale ou verticale (ou du mur de fondation) en m².K/W.
- d_n est l'épaisseur de l'isolation périphérique (ou du mur de fondation en cas d'isolation répartie), en mètre.

z est la profondeur moyenne au-dessous du sol de la face inférieure du plancher bas du sous-sol chauffé, en mètre.

2.2.2.1.5 Calcul de R_f

R_f doit tenir compte des ponts thermiques des liaisons éventuelles avec le plancher bas

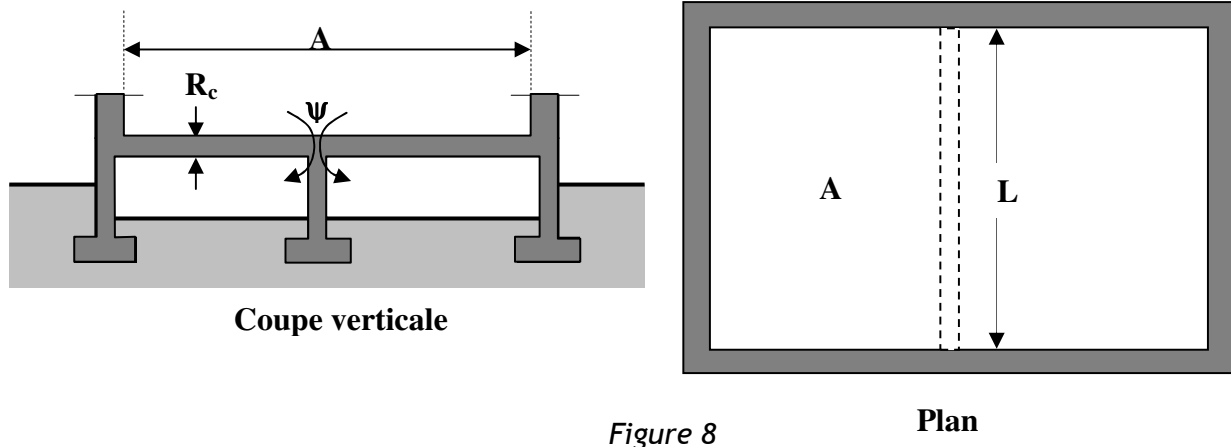


Figure 8

Soit un plancher bas de surface A donnant sur un vide sanitaire, un sous-sol non chauffé ou en contact avec le sol et supporté par un refend intermédiaire de longueur L (voir figures 8) et où :

- R_p la résistance thermique du plancher, et
- U_p le coefficient surfacique correspondant
- ψ le coefficient linéique de la liaison plancher bas-refend
- R_f la résistance thermique globale du plancher incluant l'effet de tous les ponts thermiques situés entre le local chauffé et le vide sanitaire, et U_f le coefficient surfacique correspondant.

R_f se calcule par la formule suivante :

$$R_f = \frac{1}{U_f} - 2R_{si}$$

$$\text{Avec } U_f = U_p + \frac{\psi \cdot L}{A} \quad \text{et } U_p = \frac{1}{R_p + 2R_{si}}$$

R_{si} étant la résistance superficielle côté intérieur et côté vide sanitaire

2.2.2.2 Planchers

2.2.2.2.1 Planchers sur terre plein

Le coefficient de transmission surfacique 'équivalent' U_e d'un plancher bas sur terre plein s'exprime en $W/(m^2.K)$ et se calcule d'après les formules suivantes :

$$1. \text{ Plancher à isolation continue (figure 9)} \quad U_e = U_c \quad (22)$$

2. Plancher à isolation périphérique (figure 10) $U_e = U_c + 2 \frac{\Delta \psi}{B'}$ (23)

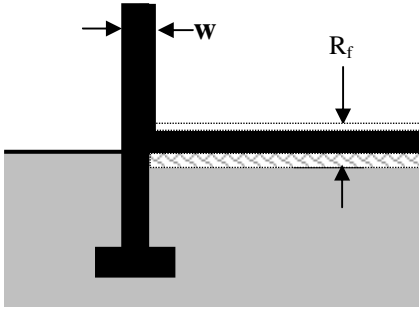


Figure 9

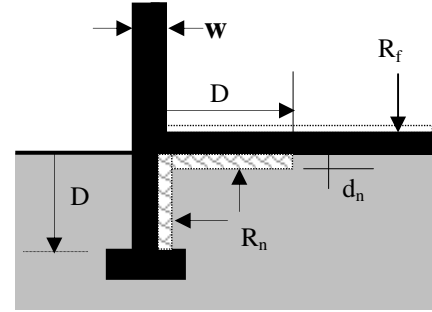


Figure 10

Où

U_c est le coefficient surfacique 'équivalent' du plancher sans l'effet de l'isolation périphérique :

$$\text{Si } d_t < B' \quad U_c = \frac{2\lambda_s}{\pi B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) \quad (24)$$

$$\text{Si } d_t \geq B' \quad U_c = \frac{\lambda_s}{0.457 B' + d_t} \quad (25)$$

$\Delta \psi$ est un terme correctif qui tient compte de la présence d'une isolation périphérique :

$$\text{Horizontale} \quad \Delta \psi = -\frac{\lambda_s}{\pi} \left[\ln \left(\frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (26)$$

$$\text{Verticale} \quad \Delta \psi = -\frac{\lambda_s}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (27)$$

d' étant l'épaisseur supplémentaire 'équivalente' résultant de la couche d'isolant périphérique, elle s'exprime en mètre et se calcule d'après la formule suivante :

$$d' = \lambda_s R_n - d_n \quad (28)$$

2.2.2.2.2 Planchers bas de sous-sol chauffé

Le coefficient de transmission surfacique 'équivalent' U_e d'un plancher bas en sous-sol chauffé s'exprime en $W/(m^2.K)$ et se calcule d'après les formules suivantes :

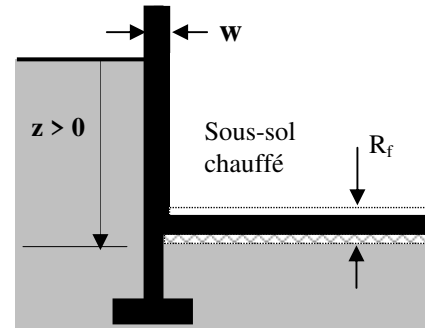


Figure 11

$$\text{Si } \left(d_t + \frac{z}{2} \right) < B' \quad U_e = \frac{2\lambda_s}{\pi B' + d_t + \frac{z}{2}} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + \frac{z}{2}} + 1 \right) \quad (29)$$

$$\text{Si } \left(d_t + \frac{z}{2} \right) \geq B' \quad U_e = \frac{\lambda_s}{0.457 B' + d_t + \frac{z}{2}} \quad (30)$$

2.2.2.2.3 Planchers hauts enterrés

Le coefficient de transmission surfacique 'équivalent' U_e d'un plancher haut enterré s'exprime en $W/(m^2.K)$ et se calcule d'après la formule suivante :

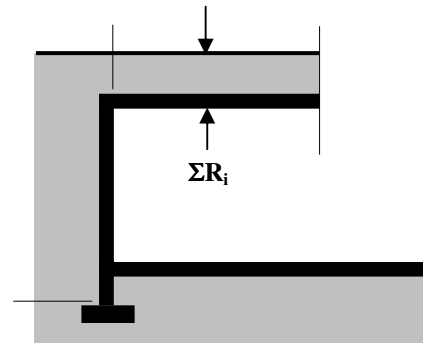


Figure 12

$$U_e = \frac{1}{R_{si} + \sum_i R_i + R_{se}} \quad (31)$$

$\sum_i R_i$ est la somme des résistances thermiques de toutes les couches i comprises entre la face inférieure du plancher et la face supérieure du sol (voir figure 12), déterminée selon § 2.1.2 ou §2.1.3.

2.2.2.3 Murs enterrés

Le coefficient de transmission surfacique 'équivalent' U_e d'un mur enterré s'exprime en $W/(m^2.K)$ et se calcule d'après la formule suivante :

$$\text{Si } d_w \geq d_t \quad U_e = \frac{2\lambda_s}{\pi z} \left(1 + \frac{0.5 d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (32)$$

$$\text{Si } d_w < d_t \quad U_e = \frac{2\lambda_s}{\pi z} \left(1 + \frac{0.5 d_w}{d_w + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (33)$$

2.2.3 Parois donnant sur vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé

Les déperditions à travers les parois donnant sur vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé ne dépendent pas uniquement des caractéristiques intrinsèques de la paroi, mais aussi du flux de chaleur à travers le sol et à travers l'espace non chauffé. Elles sont exprimées au moyen d'un coefficient surfacique 'équivalent' dont la méthode de calcul est donnée ci-après (une méthode numérique alternative est décrite dans la norme NF EN 10211).

2.2.3.1 Paramètres de calcul

Les paramètres de calcul donnés au § 2.2.2.1 et les paramètres suivants sont utilisés pour le calcul de U_e .

d_g est l'épaisseur 'équivalente' de toute isolation posée sur le sol, exprimé en mètre et calculée d'après la formule suivante :

$$d_g = w + \lambda_s (R_{si} + R_g + R_{se}) \quad (34)$$

R_g étant la résistance thermique de toute isolation posée sur le sol, en $m^2.K/W$.

U_f est le coefficient de transmission surfacique total du plancher bas donnant sur l'espace non chauffé, il tient compte de l'effet des liaisons intermédiaires du plancher (selon le § 2.2.2.1.5) :

$$U_f = U_p + \frac{\sum_k \psi_k L_k}{A} \quad (35)$$

où

U_p est le coefficient surfacique du plancher bas exprimé en $W/(m^2.K)$ et calculé selon § 2.2. Ce coefficient est le seul concerné par le garde-fou réglementaire quand il s'applique.

ψ_k est le coefficient linéique de la liaison intermédiaire k du plancher bas, exprimé en $W/(m.K)$ et déterminé selon le chapitre A5 "ponts thermiques".

L_k est le linéaire de la liaison intermédiaire (voir définition au § 1.2), en mètre

A est la surface intérieure du plancher bas, en m^2 .

h est la hauteur moyenne de la face supérieure du plancher au dessus du niveau du sol extérieur, en mètre.

z est la profondeur moyenne du sol du vide sanitaire au-dessous du niveau du sol extérieur, en m.

p est le périmètre du vide sanitaire ou du sous-sol non chauffé, en mètre

U_w est le coefficient surfacique global du mur du vide sanitaire situé au dessus du niveau du sol, exprimé en $W/(m^2.K)$ et calculé selon § 2.2.

ε est l'aire des ouvertures de ventilation divisée par le périmètre du vide sanitaire en m^2/m .

f_w est le facteur de protection contre le vent.

v est la vitesse moyenne du vent à 10 m de hauteur, en m/s.

En l'absence de valeur mesurée, prendre $v = 4$ m/s.

2.2.3.2 Planchers sur vide sanitaire

La méthode de calcul ci-après traite du cas classique de vide sanitaire dans lequel l'espace sous plancher est ventilé naturellement par l'extérieur. En cas de ventilation mécanique, ou si le taux de renouvellement d'air est spécifié, se reporter à la norme NF EN ISO 13370.

Le coefficient de transmission surfacique 'équivalent' U_e d'un plancher donnant sur un vide sanitaire s'exprime en $W/(m^2.K)$ et se calcule d'après la formule suivante :

$$\frac{1}{U_e} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (36)$$

où

U_f est le coefficient de transmission surfacique global du plancher bas déterminé selon la formule (35) et exprimé en $W/(m^2.K)$.

U_g est le coefficient de transmission thermique correspondant au flux de chaleur à travers le sol, exprimé en $W/(m^2.K)$:

Si $z \leq 0.5$ m U_g se calcule d'après la formule (24) en remplaçant d_t par d_g

$$\text{Si } z > 0.5 \text{ m} \quad U_g = U_{bf} + \frac{z}{A} U_{bw} \quad (37)$$

U_{bf} correspond aux déperditions par le sol du vide sanitaire et calculé d'après la formule (28) en remplaçant d_t par d_g .

U_{bw} correspond aux déperditions à travers la partie enterrée du mur de soubassement et calculé d'après la formule (31) ou la formule (32) en remplaçant d_t par d_g .

U_x est un coefficient de transmission surfacique équivalent correspondant au flux de chaleur à travers les murs du vide sanitaire et aux déperditions par renouvellement d'air résultant de la ventilation du vide sanitaire, exprimé en $W/(m^2.K)$ et calculé d'après la formule suivante :

$$U_x = \frac{2h U_w}{B'} + \frac{1450 \varepsilon_v f_w}{B'} \quad (38)$$

Si h varie le long du périmètre du plancher, il convient d'utiliser sa valeur moyenne. Des valeurs forfaitaires de f_w sont données dans le tableau X :

Situation	Exemple	f_w
Abritée	Centre ville	0,02
Moyenne	Banlieue	0,05
Exposée	Milieu rural	0,10

Tableau IX - Valeurs forfaitaires de f_w

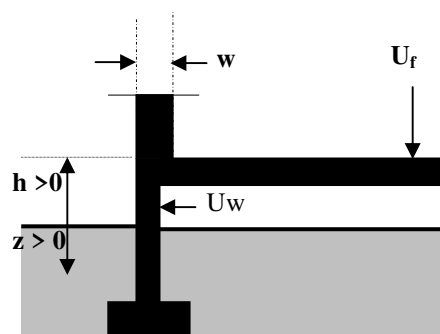


Figure 13

2.2.3.3 Planchers sur sous-sol non chauffé

Les formules indiquées dans ce paragraphe s'appliquent aux sous-sols non chauffés ventilés depuis l'extérieur.

Le coefficient de transmission surfacique 'équivalent' U_e d'un plancher donnant sur un sous-sol non chauffé s'exprime en $W/(m^2.K)$ et se calcule d'après la formule (35) :

$$\frac{1}{U_e} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x}$$

où

U_f est le coefficient de transmission surfacique global du plancher bas déterminé selon la formule (34) et exprimé en $W/(m^2.K)$.

U_g est le coefficient de transmission thermique correspondant au flux de chaleur à travers le sol, exprimé en $W/(m^2.K)$ et calculé d'après la formule (36) :

$$U_g = U_{bf} + \frac{z p}{A} U_{bw}$$

U_{bf} correspond aux déperditions par le sol du sous-sol non chauffé et calculé d'après la formule (29) ou (30), en remplaçant d_t par d_g .

U_{bw} correspond aux déperditions à travers la partie enterrée du mur de soubassement et calculé d'après la formule (32) ou la formule (33), en remplaçant d_t par d_g .

U_x est un coefficient de transmission surfacique équivalent correspondant au flux de chaleur à travers les murs du sous-sol non chauffé et à celui résultant de la ventilation du sous-sol, exprimé en $W/(m^2.K)$ et calculé d'après la formule suivante :

$$U_x = \frac{2h U_w}{B'} + \frac{0,33 n V}{A} \quad (39)$$

où

V est le volume d'air du sous-sol, en m^3 .

n est le taux de renouvellement d'air du sous-sol, en nombre de renouvellements d'air par heure.

Si h varie le long du périmètre du plancher, il convient d'utiliser sa valeur moyenne.

2.2.3.4 Murs

Le coefficient de transmission surfacique 'équivalent' U_e d'un mur donnant sur un vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé peut être calculé d'après les formules (34) à (39) en remplaçant les caractéristiques thermiques du plancher par celles du mur.

B' étant toujours la dimension caractéristique du plancher séparant l'espace non chauffé du sol.

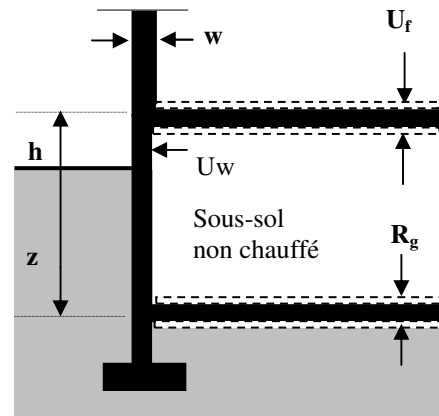


Figure 14

2.2.4 Parois en contact avec le sol et donnant sur un volume non chauffé

Le coefficient de transmission surfacique équivalent U_e d'une paroi dont la face froide est à la fois en contact avec le sol et donnant sur un volume non chauffé (local ou vide sanitaire) est calculé comme suit :

$$U_e = \frac{\sum U_{ei} A_i}{\sum A_i}$$

Avec

U_{ei} Coefficient de transmission équivalent de la paroi calculé comme si toute la paroi était en contact avec le sol, ou donnant sur un local non chauffé ou donnant sur un vide sanitaire.

A_i Superficie de la partie i de la paroi en contact avec le sol, ou donnant sur un local non chauffé ou donnant sur un vide sanitaire

Exemple :

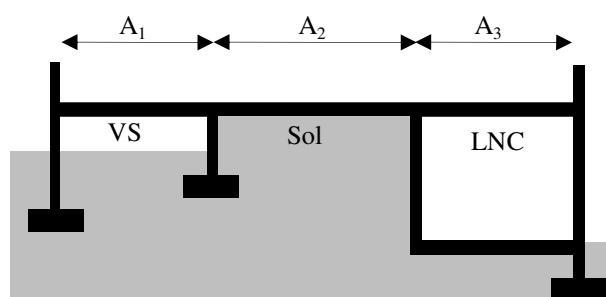


Figure 15

3. Valeurs par défaut

3.1 Etalement sur un plancher haut d'un matériau en vrac

Sont visées ici les utilisations des matériaux en vrac sur les planchers hauts sous combles perdus. Lorsque les matériaux relèvent pour cette utilisation de la procédure de l'Avis Technique, on se reportera à ces Avis et aux « Règles générales de mise en œuvre des procédés et produits d'isolation thermique rapportée sur planchers de greniers et combles perdus faisant l'objet d'un Avis Technique » en ce qui concerne la mise en œuvre et les limites d'emploi.

Les matériaux sont déposés sur les planchers par déversement manuel ou par soufflage à la machine.

Dans le cas général, le coefficient de transmission thermique U_p d'un plancher haut isolé avec des matériaux en vrac, doit être calculé conformément au paragraphe 2.2.1.1 du présent chapitre.

Dans la suite de ce paragraphe on donne, à titre d'exemple, pour quelques matériaux et pour chacune de ces mises en œuvre :

- pour les planchers plats, la résistance thermique (R) de la couche déposée,
- pour les planchers à solives industrialisées, la résistance thermique (R) de l'ensemble couche déposée-ossature (à l'exclusion de la sous-face).

Pour les matériaux déversés manuellement, la résistance thermique est exprimée en fonction de l'épaisseur de la couche déposée ; on donne également, à titre indicatif en absence de spécification précise concernant la masse volumique du matériau, la masse (m) déposée par m^2 de plancher.

Pour les matériaux déposés par soufflage à la machine, la résistance thermique est exprimée en fonction du poids déposé par m² de plancher, surface des solives incluses lorsque le plancher en comporte ; on donne à titre indicatif l'épaisseur (e) en cm de la couche déposée, celle-ci ne pouvant pas en règle générale être contrôlée, ce procédé étant le plus souvent utilisé en combles inaccessibles et l'épaisseur n'étant obtenue qu'après stabilisation, la plupart de ces produits se tassant dans le temps.

La résistance thermique de la fibre de cellulose déposée par soufflage à la machine doit être calculée pour une épaisseur stabilisée tenant compte d'un tassement donné ci après :

Coefficient de tassement	$E_p \leq 220$ mm	$E_p = 240$ mm	$E_p \geq 260$ mm
$25 < \rho \leq 35$ (ou ρ inconnu)	20 %	28 %	35 %
$35 < \rho < 40$	20 %	25 %	30 %

ρ : masse volumique (kg/m³)

E_p : épaisseur d'isolant avant tassement (mm) Les valeurs de coefficient de tassement peuvent être interpolées entre 220 et 240 mm et entre 240 et 260 mm.

Priment sur les valeurs ci-après les valeurs utiles indiquées dans les Avis Techniques ou dans les documents techniques d'application.

3.1.1 Déversement manuel sur plancher plat

Epaisseur moyenne de la couche déposée en cm		5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
Copeaux de mousse de polychlorure de vinyle : masse volumique en œuvre : 30 à 50 kg/m ³		1,1 (2)	1,7 (3)	2,3 (4)	2,8 (5)	3,4 (6)	4,0 (7)	4,5 (8)
Granulats de verre expansé	granulométrie 3/8 : masse volumique en œuvre : 145 à 175 kg/m ³	0,7 (8)	1,1 (12)	1,4 (16)	1,8 (20)	2,1 (24)	2,5 (28)	2,9 (32)
	granulométrie 8/16 : masse volumique en œuvre : 125 à 155 kg/m ³	- -	1,1 (10,5)	1,4 (14)	1,8 (17,5)	2,1 (21)	2,5 (24,5)	2,9 (28)
	granulométrie 16/25 : masse volumique en œuvre : 115 à 145 kg/m ³	- -	0,8 (10)	1,1 (13)	1,4 (16)	1,7 (19,5)	1,9 (23)	2,2 (26)
Vermiculite : granulométries inférieures à 4 masse volumique en œuvre : 90 à 130 kg/m ³		0,7 (5,5)	1,1 (8)	1,5 (11)	1,9 (14)	2,2 (16,5)	2,6 (19)	3,0 (22)
Note : les chiffres indiqués entre parenthèses donnent la masse moyenne déposée par m ² de plancher. Elle est exprimée en kg/m ² .								

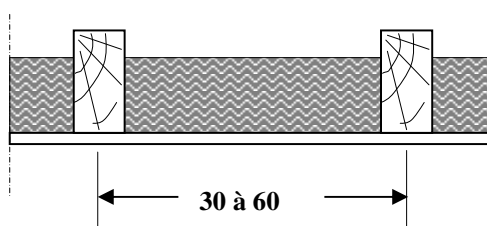
Résistance thermique (R) de la couche déposée en m².K/W

3.1.2 - Soufflage à la machine sur plancher plat

Masse moyenne déposée en kg par m ² de plancher		2	3	4	5	6	7	8
- Copeaux de mousse de polychlorure de vinyle - Laine de laitier ou de roche	masse volumique en œuvre des 2 matériaux : 30 à 50 kg par m ³	1,1 (6)	1,7 (7,5)	2,3 (10)	2,8 (12,5)	3,4 (15)	4,0 (15,5)	4,5 (20)
Masse moyenne déposée en kg par m ² de plancher		7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5
Granulats de verre expansé	granulométrie 3/8 : masse volumique en œuvre : 145 à 175 kg/m ³	0,7 (5)	0,9 (6)	1,1 (8)	1,3 (9)	1,6 (11)	1,8 (13)	2,0 (14)
	granulométrie 8/16 : masse volumique en œuvre : 125 à 155 kg/m ³	- -	1,0 (7)	1,3 (9)	1,5 (11)	1,8 (12)	2,0 (14)	2,3 (16)
	granulométrie 16/25 : masse volumique en œuvre : 115 à 145 kg/m ³	- -	0,9 (8)	1,1 (10)	1,3 (12)	1,5 (13)	1,7 (15)	1,9 (17)
Vermiculite : granulométries inférieures à 4 masse volumique en œuvre : 90 à 130 kg/m ³		1,0 (7)	1,4 (9)	1,7 (11)	2,0 (14)	2,4 (16)	2,7 (18)	3,0 (20)
Note : les chiffres indiqués entre parenthèses donnent l'épaisseur, en cm, obtenue après stabilisation, l'épaisseur à l'application étant approximativement égale à 1,25 fois l'épaisseur à la stabilisation pour des épaisseurs stabilisées inférieures ou égales à 20 cm.								

Résistance thermique (R) de la couche déposée en m².K/W

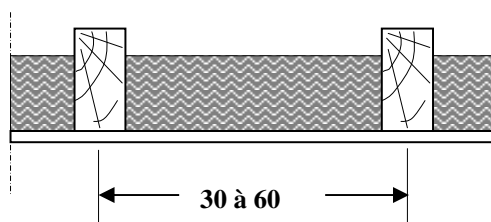
3.1.3 Déversement manuel sur plancher à solives



Epaisseur moyenne de la couche déposée en cm		5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
Copeaux de mousse de polychlorure de vinyle : masse volumique en œuvre : 30 à 50 kg/m ³		1,0 (1,8)	1,4 (2,6)	1,8 (3,4)	2,3 (4,3)	2,7 (5,1)	3,1 (6,0)	3,6 (6,8)
Granulats de verre expansé	granulométrie 3/8 : masse volumique en œuvre : 145 à 175 kg/m ³	0,7 (7)	1,0 (10,5)	1,3 (14)	1,6 (17)	1,9 (20,5)	2,2 (24)	2,5 (27,5)
	granulométrie 8/16 : masse volumique en œuvre : 125 à 155 kg/m ³	- -	1,0 (9)	1,3 (12)	1,6 (15)	1,9 (18)	2,2 (21)	2,5 (24)
	granulométrie 16/25 : masse volumique en œuvre : 115 à 145 kg/m ³	- -	0,8 (8,5)	1,0 (11)	1,3 (14)	1,6 (16,5)	1,8 (19,5)	2,1 (22,5)
Vermiculite : granulométries inférieures à 4 masse volumique en œuvre : 90 à 130 kg/m ³		0,7 (4,5)	1,0 (7)	1,3 (9,5)	1,6 (11,5)	2,0 (14)	2,3 (16,5)	2,6 (18,5)
Note : Les chiffres indiqués entre parenthèses donnent la masse moyenne déposée par m ² de plancher. Elle est exprimée en kg/m ² .								

Résistance thermique (R) de l'ensemble couche déposée-ossature en m².K/W

3.1.4 Soufflage à la machine sur plancher à solives



Masse moyenne déposée en kg par m ² de plancher, surface des solives incluses		2	3	4	5	6	7	8
- Copeaux de mousse de polychlorure de vinyle - Laine de laitier ou de roche	masse volumique en œuvre des 2 matériaux : 30 à 50 kg par m ³	1,1 (6)	1,6 (8,5)	2,1 (11,5)	2,6 (14,5)	1,1 (17,5)	3,6 (20)	4,0 (23)
Masse moyenne déposée en kg par m ² de plancher, surface des solives incluses.....		7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5
Granulats de verre expansé	granulométrie 3/8 : masse volumique en œuvre : 145 à 175 kg/m ³	0,8 (5,5)	1,0 (7,5)	1,2 (9)	1,4 (11)	1,7 (13)	1,9 (14,5)	2,1 (16,5)
	granulométrie 8/16 : masse volumique en œuvre : 125 à 155 kg/m ³	0,8 (6,5)	1,1 (8,5)	1,4 (10,5)	1,6 (12,5)	1,9 (14,5)	2,2 (17)	2,4 (19)
	granulométrie 16/25 : masse volumique en œuvre : 115 à 145 kg/m ³	0,7 (7)	0,9 (9)	1,1 (11,5)	1,3 (13,5)	1,5 (16)	1,7 (18)	1,9 (20,5)
Vermiculite : granulométries inférieures à 4 masse volumique en œuvre : 90 à 130 kg/m ³		1,0 (8)	1,4 (10,5)	1,7 (11,5)	2,0 (16)	2,4 (18,5)	2,7 (21,5)	3,0 (24)
Note : Les chiffres indiqués entre parenthèses donnent l'épaisseur en cm obtenue après stabilisation, l'épaisseur à l'application étant approximativement égale à 1,25 fois l'épaisseur à la stabilisation pour des épaisseurs stabilisées inférieures ou égales à 20 cm.								

Résistance thermique (R) de l'ensemble couche déposée-ossature en m².K/W

A5 Ponts thermiques

1- Introduction

Ce chapitre décrit les principes de la méthode de calcul des ponts thermiques et contient des valeurs par défaut, calculées conformément aux normes correspondantes citées au § I.1.

Les déperditions à travers les ponts thermiques linéaires se calculent en pondérant les coefficients linéiques par leurs linéaires correspondants déterminés à partir des dimensions intérieures des locaux.

Les déperditions à travers les ponts thermiques ponctuels se calculent en pondérant les coefficients ponctuels par leurs nombres respectifs.

De plus amples informations concernant la prise en compte des ponts thermiques sont données dans le chapitre A1 «Généralités » des Règles Th-U.

1.1. - Références normatives

- **NF EN ISO 10211** : Ponts thermiques dans le bâtiment - Flux thermiques et températures superficielles - calculs détaillés.
- **NF EN ISO 13370** : Performance thermique des bâtiments - transfert de chaleur par le sol - méthodes de calcul.
- **NF EN ISO 6946** : Composants et parois de bâtiments – Résistance thermique et coefficient de transmission thermique – Méthode de calcul

1.2. – Définitions, symboles et indices

a – Définitions

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).
- **Plancher bas** : paroi horizontale donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face supérieure.
- **Plancher intermédiaire** : Paroi horizontale donnant, sur ses faces inférieure et supérieure, sur des locaux chauffés.

- **Plancher haut** : Paroi horizontale donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face inférieure.
- **Local chauffé** : Local dont la température normale en période d'occupation est supérieure à 12°C.
- **Liaisons périphériques** : Liaisons situées au pourtour d'un plancher donné.
- **Liaisons intermédiaires** : Liaisons situées à l'intérieur du pourtour d'un plancher donné.
- **Coefficient linéique ψ** : Coefficient qui exprime les déperditions dues à un pont thermique linéaire en W par K, par mètre linéaire.
- **Coefficient ponctuel χ** : Coefficient qui exprime les déperditions dues à un pont thermique ponctuel en W par K.
- **Isolation par l'intérieur** : Isolation par une couche isolante appliquée du côté intérieur sur une paroi verticale de l'enveloppe.
- **Isolation par l'extérieur** : Isolation par une couche isolante appliquée du côté extérieur sur une paroi verticale de l'enveloppe.
- **Isolation répartie** : Isolation assurée exclusivement par l'épaisseur de la partie porteuse de la paroi (ex : blocs à perforations verticales en terre cuite, blocs en béton cellulaire).
- **Conductivité thermique équivalente** : Rapport de la résistance thermique d'une paroi sur son épaisseur, en W/(m.K)
- **Maçonnerie courante** : Maçonnerie couramment utilisée (à base de béton ou de terre cuite) de conductivité thermique équivalente $\lambda_e \geq 0.7$ W/(m.K)
- **Maçonnerie isolante type a** : Maçonnerie à isolation répartie de conductivité thermique équivalente $\lambda_e \leq 0.2$ W/(m.K)
- **Maçonnerie isolante type b** : Maçonnerie à isolation répartie de conductivité thermique équivalente $0.2 < \lambda_e < 0.4$ W/(m.K)
- **Plancher en béton plein** : Dalle de béton ou plancher préfabriquée en béton plein avec prédalle.

b - Symboles

Symbole	Grandeur	Unité
ϕ	Flux thermique total à travers un système donné	W
ϕ	Flux thermique par unité de longueur	W/m
U	Coefficient de transmission surfacique	W/(m².K)
ψ	Coefficient de transmission linéique	W/(m.K)
χ	Coefficient de transmission ponctuel	W/K
T	Température	K
ΔT	Différence de température entre deux ambiances	K
R_{si}	Résistance thermique superficielle intérieure	m².K/W
R_{se}	Résistance thermique superficielle extérieure	m².K/W
λ	Conductivité thermique	W/(m.K)
A	Surface	m²
L	Longueur ou largeur	m
e	Epaisseur	m
h	Hauteur	m
z	Profondeur du sol extérieur par rapport au nu supérieur du plancher, compté négativement lorsque le plancher est plus bas que le sol et positivement dans le cas contraire	m
R_c	Résistance thermique de la correction isolante insérée entre le plancher sur terre plein et le mur	m².K/W
R_{sc}	Résistance thermique de la couche d'isolant sous chape flottante	m².K/W
d	Recouvrement de l'isolation sous plancher par l'isolation du mur, compté positivement vers le haut à partir de la face inférieure de l'isolant sous plancher	m
r_p	Retombée de poutre	m
l_f	Largeur de la feuillure ou distance entre le fond de feuillure et le bord du tableau	cm
l_p	Largeur de la surface de contact entre le dormant de menuiserie et un refend traversant	cm
TC	Terre Cuite	
BC	Béton Cellulaire	
2D	Deux dimensions	
3D	Trois dimensions	
1D	Monodimensionnel	

c - Indices

i	Intérieur
e	Extérieur ou LNC
p	Plancher
m	Mur
r	Refend
c	chaînage
po	Poutre
f	Feuillure

2 – Méthodes de calcul des ponts thermiques

2.1- Définition du pont thermique

Un pont thermique est une partie de l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique, par ailleurs uniforme, est modifiée de façon sensible par :

- a - la pénétration totale ou partielle de l'enveloppe du bâtiment par des matériaux ayant une conductivité thermique différente comme par exemple les systèmes d'attaches métalliques qui traversent une couche isolante.

Et/ou

- b - un changement local de l'épaisseur des matériaux de la paroi ce qui revient à changer localement la résistance thermique.

Et/ou

- c - une différence entre les surfaces intérieure et extérieure, comme il s'en produit aux liaisons entre parois.

Les ponts thermiques entraînent des déperditions supplémentaires qui peuvent dépasser, pour certains bâtiments, 40 % des déperditions thermiques totales à travers l'enveloppe.

Un autre effet néfaste des ponts thermiques, souvent négligé, est le risque de condensation superficielle côté intérieur dans le cas où il y a abaissement des températures superficielles à l'endroit du pont thermique.

La norme NF EN ISO 10211 décrit la méthode de calcul des ponts thermiques et des températures superficielles intérieures.

2.2- Types de ponts thermiques

Il existe principalement deux types de ponts thermiques :

- 1 - les ponts thermiques linéaires ou 2D caractérisés par un coefficient linéique ψ exprimé en $W/(m.K)$ (exemple : liaison en partie courante entre un plancher et un mur extérieur).

La déperdition en W/K à travers un pont thermique linéaire se calcule en multipliant le coefficient linéique par son linéaire exprimé en mètre.

- 2 - les ponts thermiques ponctuels ou 3D caractérisés par un coefficient ponctuel χ exprimé en W/K (exemple : liaison entre un plancher et deux murs perpendiculaires de façade).

Le coefficient ponctuel exprime la déperdition en W/K à travers le pont thermique en question.

2.3- Procédure de calcul

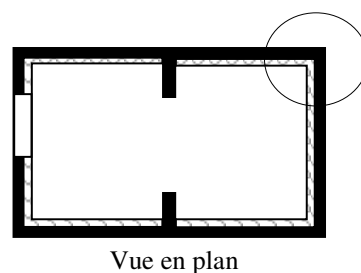
On se limite ici à une description succincte de la méthode de calcul numérique des coefficients de déperdition des ponts thermiques. Pour plus de détail se référer aux normes citées au § I.1.

Le calcul d'un pont thermique conformément aux normes européennes nécessite l'utilisation de méthodes à résolution numérique comme les méthodes aux éléments finis ou aux différences finies.

Les programmes de calcul doivent être vérifiés conformément à l'annexe A de NF EN ISO 10211.

2.31 - La modélisation de la géométrie

La modélisation du bâtiment dans son intégralité par un seul modèle est une opération lourde et coûteuse à la fois d'où l'idée de le diviser en plusieurs parties à l'aide de plans de coupe appropriés de telle manière qu'aucune différence n'existe entre le résultat du calcul sur les parties séparées du bâtiment et le bâtiment traité dans son ensemble.



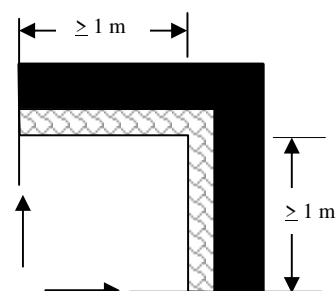
Vue en plan

Figure 1

Le modèle géométrique doit comprendre, en plus du pont thermique, son environnement proche comme les parties de parois voisines, limitées par des plans de coupe situés à l'abri des perturbations causées par le pont thermique.

La règle à suivre pour le choix des plans de coupe, est détaillée dans la norme NF EN ISO 10211.

Plans de coupe



modèle géométrique

Figure 2

2.3.2 - Le maillage

Le modèle géométrique doit être discrétisé en petits éléments ou mailles dont la densité doit être d'autant plus forte qu'on s'approche du centre du pont thermique où la perturbation des lignes de flux est maximale. Dans cette zone et pour les détails constructifs du gros œuvre comme les liaisons entre parois du bâtiment, la dimension de la maille ne doit pas dépasser 25 mm.

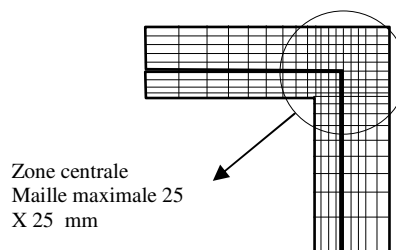


Figure 3

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

2.3.3 - Les caractéristiques thermiques des matériaux

Cette étape consiste à attribuer des caractéristiques thermiques de matériaux à des ensembles de mailles ou d'éléments du modèle. Ces caractéristiques doivent être obtenues d'après le chapitre A2 "matériaux" des Règles Th.U.

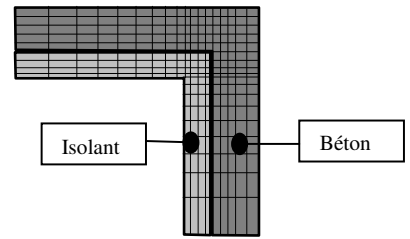


Figure 4

2.3.4 - Les conditions aux limites

Les conditions aux limites sont de trois types :

- a - Conditions aux limites de température
- b - Conditions aux limites de flux
- c - Conditions aux limites d'ambiance

Généralement les conditions aux limites les plus utilisées pour le calcul des ponts thermiques sont de type b et c et consistent à imposer une condition adiabatique (flux de chaleur nul) aux plans de coupe, et des températures d'ambiances T_i , T_e avec des résistances superficielles R_{si} , R_{se} sur les surfaces exposées aux ambiances, chaude et froide.

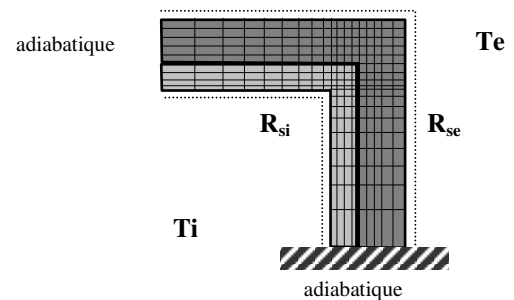


Figure 5

Le chapitre A1 "Généralités" précise les valeurs des températures et des résistances superficielles à utiliser.

2.3.5 - Le calcul numérique et l'exploitation des résultats

Une fois les étapes A, B, C, D accomplies, le calcul numérique peut être déclenché. Le résultat est généralement le flux de chaleur global relatif au modèle composé du (ou des) pont(s) thermique(s) et des parois voisines délimitées par les plans de coupe (voir exemples I et II).

Exemple I :

Cas d'une liaison d'angle entre le plancher d'un local et deux murs perpendiculaires donnant sur l'extérieur, le modèle géométrique 3D contient :

- trois parois délimitées par trois plans de coupe (P1, P2 et P3)
- trois ponts linéaires situés à la jonction des parois (ψ_1 , ψ_2 et ψ_3)
- un pont thermique ponctuel situé à la jonction des trois parois (χ).

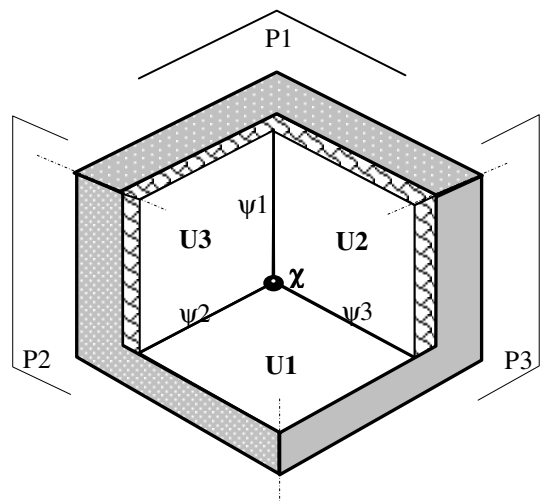


Figure 6 : modèle géométrique 3 D

Exemple II :

Cas d'une liaison d'angle de deux murs perpendiculaires d'un local, donnant sur l'extérieur, le modèle géométrique 2D contient :

- deux murs délimités par deux plans de coupe (P2 et P3)
- un pont thermique linéaire situé à la jonction des deux murs (ψ_1).

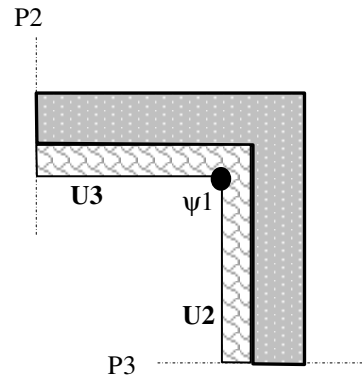


Figure 7 : modèle géométrique 2D

Le principe de calcul d'un pont thermique donné consiste à calculer le flux thermique qui lui est associé comme étant la différence entre le flux total ϕ_T , obtenu par calcul numérique, et la somme des flux associés aux autres composants du modèle $\Sigma\phi_k$ obtenus soit par calcul numérique, soit par calcul manuel.

Le coefficient du pont thermique s'obtient en divisant le flux ainsi obtenu, par la différence de température entre les deux ambiances chaude et froide ΔT .

2.3.5.1 – Cas où les flux $\Sigma\phi_k$ peuvent être déterminés séparément

Dans ce cas le pont thermique est le seul inconnu, il se calcule à partir du flux total ϕ_T d'après les formules (1) et (2) suivantes :

a - Pont thermique ponctuel en 3D :

$$\chi = \frac{\phi_T - \sum \phi_k}{\Delta T} \quad \text{donc} \quad \chi = \frac{\phi_T}{\Delta T} - \sum_{i=1}^N U_i A_i - \sum_{j=1}^M \psi_j L_j \quad \text{W/K} \quad (1)$$

où

χ est le coefficient ponctuel du pont thermique exprimé en W/K

ϕ_T est le flux total à travers le modèle 3D, exprimé en W

ΔT est la différence de température entre les deux ambiances chaude et froide, exprimé en K

U_i est le coefficient surfacique du composant i, exprimé en W/(m².K)

A_i est la surface intérieure sur laquelle s'applique la valeur U_i dans le modèle géométrique 3D, exprimée en m²

N est le nombre des composants 2D

ψ_j est le coefficient linéique du pont thermique linéaire j calculé selon la formule (2) et exprimé en W/(m.K)

L_j est la longueur intérieure sur laquelle s'applique la valeur ψ_j dans le modèle géométrique 3D, exprimée en m

M est le nombre des ponts thermiques linéaires

b - Pont thermique linéaire en 2D :

$$\psi = \frac{\varphi_T - \sum \varphi_k}{\Delta T} \quad \text{donc} \quad \psi = \frac{\varphi_T}{\Delta T} - \sum_{i=1}^N U_i L_i \quad \text{W/(m.K)} \quad (2)$$

où

- ψ est le coefficient linéique du pont thermique exprimé en W/(m.K)
 φ_T est le flux total par mètre de longueur à travers le modèle 2D, exprimé en W/m
 ΔT est la différence de température entre les deux ambiances chaude et froide, exprimé en K
 U_i est le coefficient surfacique du composant i, exprimé en W/(m².K)
 L_i est la longueur intérieure sur laquelle s'applique la valeur U_i dans le modèle géométrique 2D, exprimée en m
 N est le nombre des composants 1D

Les formules (1) et (2) supposent que les parois sont homogènes sur leurs surfaces pour qu'on puisse parler de coefficients surfaciques U_i .

Ces coefficients U_i doivent être calculés conformément au chapitre A4 "Parois opaques".

2.3.5.2 – Cas où les flux $\Sigma \varphi_k$ ne peuvent pas être déterminés séparément

Dans ce cas, la méthode consiste à faire le calcul du flux selon deux configurations :

- la première est obtenue comme décrit dans les étapes 2.3.1 à 2.3.4
- la seconde dérive de la première en supprimant l'effet du pont thermique, tout paramètre étant identique par ailleurs.

Le flux thermique dû au pont thermique seul se calcule comme étant la différence entre les deux flux ainsi calculés.

Cette méthode est généralement utilisée pour le calcul des liaisons entre composants à coefficient surfacique variable comme par exemple les planchers bas sur terre-plein. La norme NF EN ISO 13370 donne davantage de précisions sur les modalités de calcul.

2.3.6 – Présentation des résultats

Les résultats doivent être impérativement accompagnés des justifications suivantes :

- 1 – le détail géométrique du modèle avec les dimensions et le positionnement des plans de coupe
- 2 – La densité du maillage, adoptée
- 3 – La conductivité thermique des matériaux (y compris la conductivité équivalente des espaces d'air)
- 4 – Les conditions aux limites de température et d'échanges superficiels
- 5 – Le flux thermique résultant
- 6 – Eventuellement tout autre résultat intermédiaire

B Règles ThS

Caractérisation du facteur de transmission solaire des parois du bâtiment

1. Préambule et contexte

L'objectif général des règles Th-S est de mettre à disposition des méthodes de calcul de consommation d'énergie, de dimensionnement et d'appréciation du confort thermique les paramètres nécessaires pour calculer les apports solaires par les éléments d'enveloppe. Il s'agit donc du calcul du facteur solaire S des composants de bâtiments. Le facteur solaire d'une paroi est le rapport entre l'énergie due au rayonnement solaire transmise au local et l'énergie incidente sur la paroi.

Le facteur solaire à prendre en compte peut différer selon l'objectif de la méthode de calcul utilisée (dimensionnement en climatisation, évaluation du confort d'été, méthode de calcul de consommations d'énergie des bâtiments chauffés, méthode de calcul de consommations d'énergie des bâtiments climatisés), car ces méthodes peuvent prendre en compte des hypothèses par défaut différentes.

Afin de limiter le nombre de cas envisagés, on a retenu les trois cas de base suivants :

- Un calcul dit d'« hiver » correspondant aux méthodes de calcul de consommations d'énergie des bâtiments chauffés et climatisés,
- Un calcul dit d'« hiver » correspondant aux méthodes de calcul de consommations d'énergie des bâtiments uniquement chauffés (non climatisés),
- Un calcul dit d'« été », correspondant au dimensionnement des systèmes de climatisation (fonction refroidissement) et de confort d'été.

Les règles présentent les phénomènes physiques mis en jeu et les simplifications adoptées pour déterminer les caractéristiques énergétiques des parois. Au cours de la rédaction, les termes qui peuvent être rencontrés dans d'autres documents comme les normes ou méthodes de calcul sont explicités de manière à faciliter l'articulation entre les différents textes et méthodes.

La nomenclature met à disposition du lecteur la liste des variables utilisées et leur position dans le texte. Il pourra s'y référer, à l'instar d'un sommaire, pour naviguer plus rapidement dans le texte. Ce dernier comprend un panorama des normes en lien avec le sujet et leur articulation avec les présentes règles. Cette coordination apporte des éléments sur ce qui est nécessaire pour utiliser ces règles et l'utilité des grandeurs auxquelles elles donnent accès. La méthode générale de calcul est présentée à partir du cas le plus courant vers les cas particuliers. Ainsi, la formule globale est-elle introduite avant les méthodes et tableaux nécessaires à la détermination des différents coefficients mis en jeu. Un chapitre complémentaire sur les cas particuliers vient finir le document.

Le texte traite, d'une part, des baies, d'autre part, des parois opaques.

2. Définitions et phénomènes mis en jeu

2.1 Généralités

Le facteur de transmission de l'énergie solaire, communément appelé « facteur de transmission solaire » voire « facteur solaire » 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 :

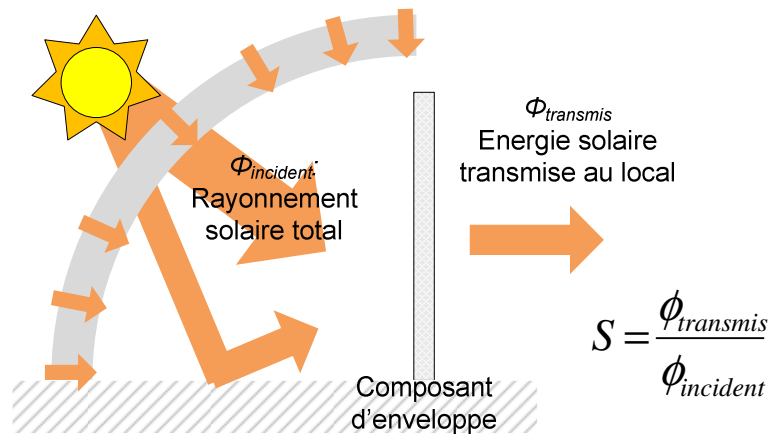


Figure 31 : Notion de facteur de transmission solaire S

L'énergie pénétrant à l'intérieur du local, qui rentre dans la définition du facteur de transmission de l'énergie solaire, 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. Ces règles ne concernent que le rayonnement solaire donc dans la gamme de longueur d'onde qui va de 0,3 μm à 2,5 μm .

Dans le cas général d'une paroi translucide, l'énergie pénétrant vers l'intérieur se décompose en trois composantes :

- Une composante courte longueur d'onde, notée « 1 », qui correspond à la pénétration directe du rayonnement incident à travers la paroi translucide,
- 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.

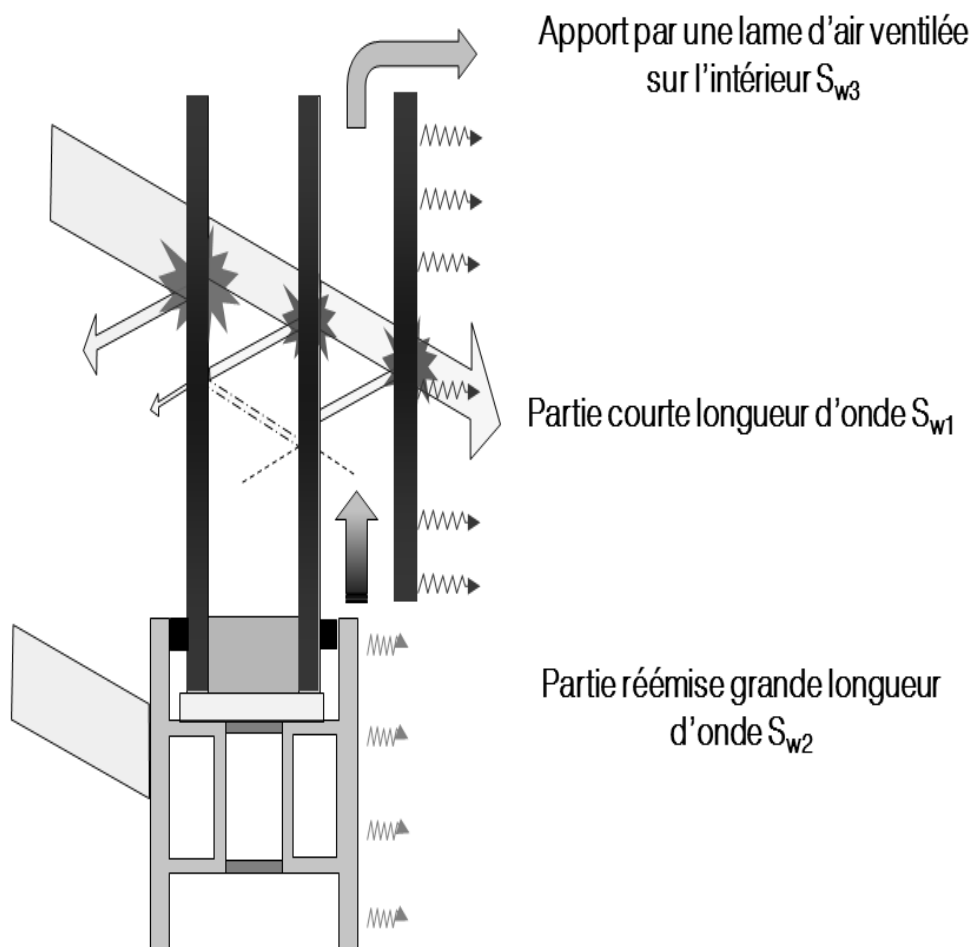


Figure 32 : Composantes 1,2 et 3 du facteur de transmission solaire – cas d'une fenêtre équipée d'une protection solaire intérieure

Dans le cas d'une paroi opaque ou d'un pont thermique, le facteur de transmission de l'énergie solaire est uniquement lié à la seconde composante de réémission thermique ($Sp1 = Sp3 = 0$). Les différentes composantes ne sont donc pas précisées pour une paroi opaque.

Dans le cas particulier d'une paroi vitrée associée à une protection solaire à lames inclinées, on distingue de plus les facteurs de transmission solaire en fonction de la nature du rayonnement incident : direct, diffus en provenance du ciel ou réfléchi de manière diffuse par le sol.

La décomposition des facteurs de transmission solaire en différentes composantes permet de modéliser plus finement le comportement dynamique global du bâtiment.

L'échauffement global de la paroi dû au soleil dépend des conditions climatiques, notamment des températures intérieures et extérieures et de l'intensité du rayonnement solaire incident. Pour cela, on réalise en général deux calculs selon deux types de conditions climatiques :

- Un calcul en conditions hivernales qui est utilisé comme donnée d'entrée pour calculer les consommations conventionnelles du bâtiment (chauffage et

climatisation). Le facteur de transmission de l'énergie solaire calculé dans ces conditions de consommation porte un indice « C ».

- Un calcul en conditions estivales qui est utilisé pour les calculs de température intérieure atteinte en période chaude et pour le dimensionnement des systèmes de refroidissement. Le facteur de transmission de l'énergie solaire calculé dans ces conditions de confort thermique d'été et de dimensionnement porte un indice « E ».

2.2 Définition des termes associés aux composants et à l'ouvrage

Baie¹ : ouverture ménagée dans une paroi extérieure servant pour l'éclairage, le passage ou l'aération. Dans le cadre des Th-S, la baie est l'ouverture accueillant la paroi vitrée. Les facteurs de transmission solaire obtenus par application des règles Th-S 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.

Cadre² : 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) Erreur ! Signet non défini. : 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.

Masque proche Erreur ! Signet non défini. : 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°.

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.

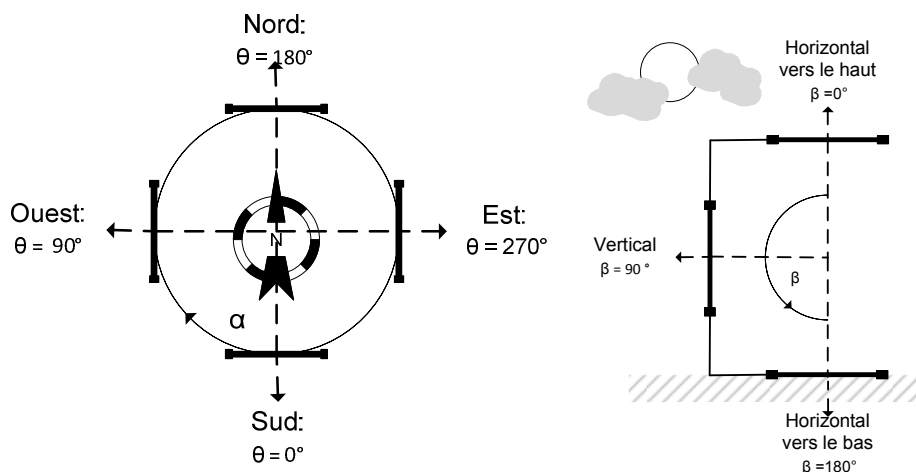


Figure 33 : Conventions d'orientation et d'inclinaison des composants d'enveloppe

Paroi transparente ou translucide³ : 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 vitrée⁴ : 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 34). Une paroi vitrée peut être associée ou non à une protection mobile.

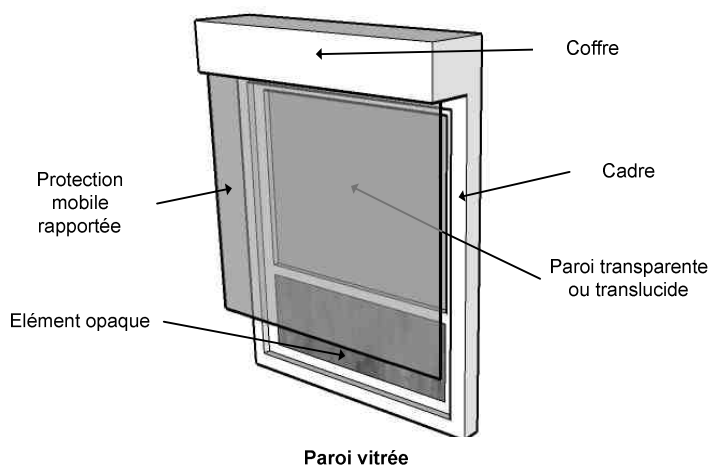


Figure 34 : Éléments constitutifs de la paroi vitrée

Protection mobile rapportée⁴ : 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.

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 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 règles Th-S.

Protection mobile rapportée à lames inclinées⁵ (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.

⁵ Selon la norme XP P50-777.

3. Nomenclature

Nom	Unité	§	Description
$F_{fs,Cch}^{fs,Cch}$ $F_{fs,Cclim}^{fs,Cclim}$ $F_{fs,E}^{fs,E}$ F_{fs}^{fs}	/	4.3.1.2	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.
$F_{fs,Cch}^{fs,Cch}$ $F_{fs,Cclim}^{fs,Cclim}$ $F_{fs,E}^{fs,E}$ F_{fs}^{fs}	/	4.3.1.2	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
$R_{fs,Cch}^{fs,Cch}$ $R_{fs,Cclim}^{fs,Cclim}$ $R_{fs,E}^{fs,E}$	/	4.3.1.2	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		4.3.2.2	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	4.3.2.2	Longueur du masque à projection
H	m	4.3.2.2	Hauteur de la baie
β_{pp}	°	4.3.2.2	Angle entre la paroi verticale et le plan du masque à projection
τ_{pp}	/	4.3.2.2	Facteur de transmission global du matériau constituant le masque à projection
C_{opp}		4.3.2.2	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	4.4.1	Aires développées visibles de la plaque translucide, vues des deux côtés de la paroi
A_p	m ²	4.4.1	Aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture
h_e	W/(m ² .K)	4.4.1	Coefficient de transmission thermique superficielle extérieur, calculé en conditions C.
r_v		4.4.1	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	4.4.1	Périmètre intérieur de la costière
α_{e1}		4.4.1	Coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière
Ψ_1	W/(m.K)	4.4.1	Coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière et calculé selon les Règles Th-U, chapitre A3.
L_2	m	4.4.1	longueur du profil central pour des lanterneaux à deux vantaux
α_{e2}		4.4.1	Coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé central, pour les lanterneaux à deux vantaux
Ψ_2	W/(m.K)	4.4.1	Coefficient de transmission thermique linéique à

			travers le profilé central, pour les lanterneaux à deux vantaux et calculé selon les Règles Th-U, chapitre A3.
α_k		5.1	Coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque
U_{k-C}	$W.m^{-2}.K^{-1}$	5.1	Coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions C, déterminé selon les règles Th-U et les normes associées
U_{k-E}	$W.m^{-2}.K^{-1}$	5.1	Coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions E
R_{se-C} R_{se-E}	$m^2.K.W^{-1}$	5.1	Résistances thermiques superficielles extérieures (convection et rayonnement) en conditions C et E
R_{si-C} R_{si-E}	$m^2.K.W^{-1}$	5.1	Résistances thermiques superficielles intérieures (convection et rayonnement) en conditions C et E
$U_{k-C, non-ventilée}$ $U_{k-E, non-ventilée}$	$W.m^{-2}.K^{-1}$	5.1	Coefficient de transfert thermique dans l'hypothèse d'une lame d'air horizontale non-ventilée en conditions C et E
R_i	$m^2.K.W^{-1}$	5.1	Résistance thermique de la partie de la paroi opaque en contact avec l'intérieur
R_e	$m^2.K.W^{-1}$	5.1	Résistance thermique de la partie de la paroi opaque en contact avec l'extérieur
R_{la}	$m^2.K.W^{-1}$	5.1	Résistance thermique de la lame d'air de la paroi opaque, en supposant celle-ci fermée et non-ventilée
$U_{k-C, eq-très-ventilée}$ $U_{k-E, eq-très-ventilée}$	$m^2.K.W^{-1}$	5.1	Coefficient de transfert thermique équivalent dans l'hypothèse d'une lame d'air horizontale très fortement ventilée en conditions C et E,
K_{qs}		5.1	Coefficient caractéristique des interactions entre le vent et la lame d'air verticale
S_{EA}	m^2	5.1	Surface de la plus petite des différentes sections latérales d'ouverture de la lame d'air ventilée horizontale
$A_{e,k}$	m^2	5.1	Surface totale de la face intérieure de la partie en contact avec l'extérieur de la paroi opaque dans le cas d'une lame d'air ventilée horizontale

Tableau 7 : Nomenclature des règles Th-S

4. Règles Th-S Partie baie

Pour rappel, le calcul du facteur de transmission solaire d'une paroi vitrée est réalisé dans les conditions suivantes :

	Conditions de référence (hiver) « C »	Conditions d'été « E »
Température extérieure T_{ext} (°C)	5	25
Température intérieure T_{int} (°C)	20	25
Flux solaire sur la paroi (W.m^{-2})	300	500

Tableau 8 : Rappel des conditions de calcul de référence et d'été

4.1 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 transparente ou translucide associée à ses éléments opaques sans protection rapportée en place,
- **ws** : paroi transparente ou translucide 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.

L'intégralité du chapitre est consacrée à la détermination effective des facteurs solaires des baies, à partir du contexte normatif en vigueur.

4.2 Données d'entrée des règles Th-S

La définition des facteurs de transmission solaire d'une baie passe par un processus normatif, depuis la caractérisation des matériaux jusqu'à la prise en compte des composants dans les modèles de comportement du bâtiment ou de parties de bâtiment.

Les règles Th-S s'inscrivent comme une étape supplémentaire dans ce processus :

- en réalisant le lien entre caractérisation du facteur de transmission solaire d'une paroi vitrée et comportement de cette dernière une fois mise en place sur l'ouvrage.
- en proposant des prises en compte de certains cas particuliers fréquemment rencontrés, mais ne disposant pas de contexte normatif complet.

Le présent chapitre rappelle l'agencement des normes entre elles dans les cas courants et détaille le rôle ainsi que la position des présentes règles dans le contexte normatif.

4.2.1 Panorama normatif

Les normes intervenant dans la caractérisation de la paroi vitrée sont les suivantes :



Figure 35 : Caractérisation de l'assemblage de composants de la paroi vitrée

EN 410 : « Verre dans la construction : détermination des caractéristiques lumineuses et solaires des vitrages »

EN 13363-2 : « Dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages : calcul du facteur de transmission solaire et lumineuse - Partie 2: méthode de calcul détaillé »

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

EN 14501 : « Fermetures et stores : confort thermique et lumineux, caractérisation des performances et classification »

XP P50-777 : « Détermination du facteur de transmission solaire et lumineuse »

EN ISO 10077-1 « Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Calcul du coefficient de transmission thermique - Partie 1: Généralités »

EN ISO 10077-2 : « Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Calcul du coefficient de transmission thermique - Partie 2: Méthode numérique pour les encadrements »

Dans le cadre des facteurs de transmission solaire, les normes listées précédemment s'articulent de la manière suivante :

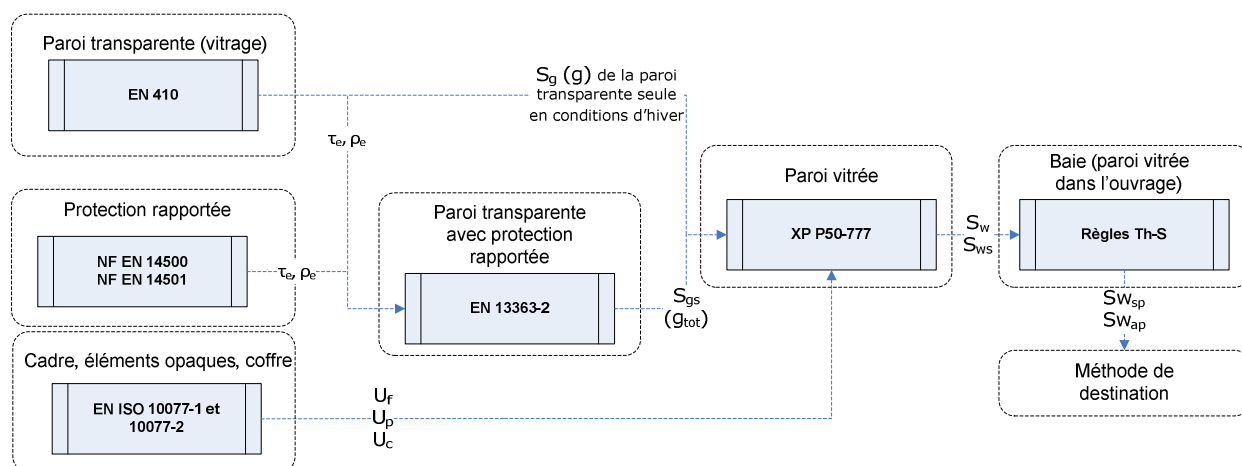


Figure 36 : Communications entre les textes normatifs pour la définition des facteurs de transmission solaires des baies

4.2.2 L'apport des règles Th-S

Le processus normatif évoqué ci-dessous 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 à incidence directe normale, à l'exception des parois à protections à lames inclinées⁶.

⁶ 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.

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,
- 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-Bat, viennent se positionner de la manière suivante vis-à-vis des normes précédemment évoquées :

	Echelle	Facteur de transmission solaire
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	EN 13363-2
	Parois transparentes ou translucides	XP P50-777
Intégration dans l'ouvrage	Paroi vitrée dans l'ouvrage	Règles Th-S
Impact sur l'ambiance intérieure et les besoins en énergie	Bâtiment ou partie de bâtiment	Méthode de destination

Tableau 9 : Cohérence des textes normatifs et des règles Th-Bat

4.2.3 Données d'entrée et sortie des règles Th-S

Dans les limites du domaine d'application évoquées au 4.2.2, les résultats de l'application des normes sont les suivants :

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

Tableau 10 : 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

Composante intérieure	Incidence	Paroi vitrée	
		Avec protection rapportée à lames inclinées en place	
		C	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		$S_{ws3}^C(\eta, \alpha)$	$S_{ws3}^E(\eta, \alpha)$

Tableau 11 : Résultats d'application des normes de détermination des facteurs solaires pour les parois vitrées munies de protection mobile à lames inclinées

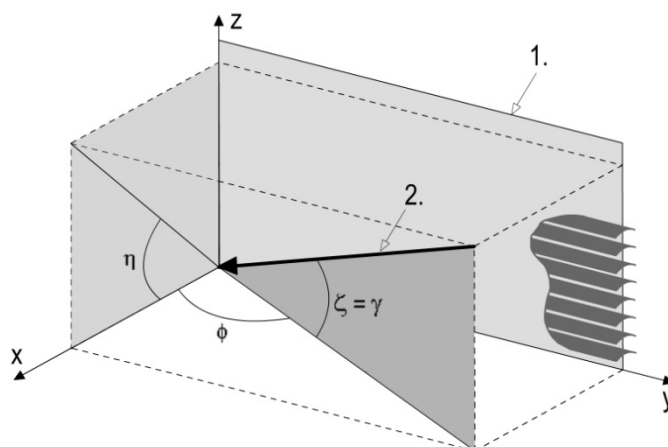
Les présentes règles Th-S aboutissent à partir de ces données d'entrée aux résultats de sortie suivants :

Incidence	Composante intérieure	Baie (paroi vitrée intégrée à l'ouvrage)					
		Sans protection rapportée en place (nue)		Avec protection rapportée en place autre qu'à lames inclinées		Avec protection rapportée à lames inclinées en place	
		C	E	C	E	C	E
Directe d'incidence quelconque	Global	$Sw_{sp-c,b}$	$Sw_{sp-e,b}$	$Sw_{ap-c,b}$	$Sw_{ap-e,b}$	$Sw_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha)$	$Sw_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha)$
	1 : CLO	$Sw1_{sp-c,b}$	$Sw1_{sp-e,b}$	$Sw1_{ap-c,b}$	$Sw1_{ap-e,b}$	$Sw1_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha)$	$Sw1_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha)$
	2 : GLO et convective	$Sw2_{sp-c,b}$	$Sw2_{sp-e,b}$	$Sw2_{ap-c,b}$	$Sw2_{ap-e,b}$	$Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha)$	$Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha)$
	3 : lame d'air int. ventilée	$Sw3_{sp-c,b}$	$Sw3_{sp-e,b}$	$Sw3_{ap-c,b}$	$Sw3_{ap-e,b}$	$Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha)$	$Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha)$
Diffuse	Global	Même facteurs qu'en incidence directe				$Sw_{ap,dif-c,b}(\alpha)$	$Sw_{ap,dif-e,b}(\alpha)$
	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					$Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha)$	$Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha)$

Tableau 12 : Résultats d'application des Th-S

Notes : dans les **Tableau 11** et **Tableau 12**, les résultats avec protection rapportée à lames inclinées sont exprimés pour des angles de profil noté η variant de 0° à 75° par pas de

15° (6 valeurs), et une inclinaison des lames α variant entre 0° et 90° par pas de 15° (7 valeurs). L'angle de profil correspond à l'angle d'incidence par rapport à la normale au plan de la paroi vitrée, mesuré dans le plan vertical (voir ci-dessous) :



Légende

- 1 Plan de la protection mobile
- 2 Rayonnement incident
- η Angle de profil
- Φ Angle d'azimut
- ξ Angle d'altitude
- γ Hauteur du soleil

Figure 37 : Illustration de l'angle de profil η pour une protection mobile verticale à lames horizontales

L'angle de profil η est également désignée par le terme hauteur de soleil corrigée γ' .

En composante 2 et 3, le facteur de transmission solaire pour un couple donné n'est pas dissociable en fonction de la nature du rayonnement.

4.3 Détermination du facteur de transmission solaire pour les cas courants de baies

La présente méthode s'applique aux cas courants, c'est-à-dire les parois vitrées non diffusantes (parois transparentes), associées ou non à des protections rapportées, telles qu'appartenant au domaine d'application de la norme XP P50-777.

La méthode utilisée est une approche simplifiée, adaptée pour des méthodes de calcul où les facteurs de transmission solaire sont constants sur une période annuelle (conditions « C ») ou sur une période chaude (conditions « E »).

On traite de manière indépendante la paroi sans protection et avec protection rapportée en place. Dans le traitement, la méthode distingue le cas où la protection rapportée est à lames inclinées ou non.

Ensuite, les corrections appliquées dans les cas courants sont les suivantes :

- Correctif pour l'impact de l'intégration à l'ouvrage $F_{\text{bâti}}^{\text{fs}}$: les masques proches et le contour de la baie ont pour effet de réduire le rayonnement incident dans le plan du vitrage.

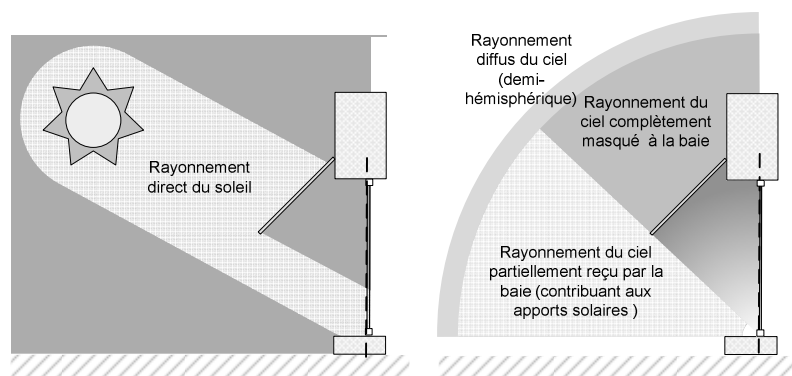


Figure 38 : Réduction d'éclairement associé à un masque proche à projection et à l'ouvrage pour les rayonnements du soleil et du ciel

- 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_{iv}^{fs}

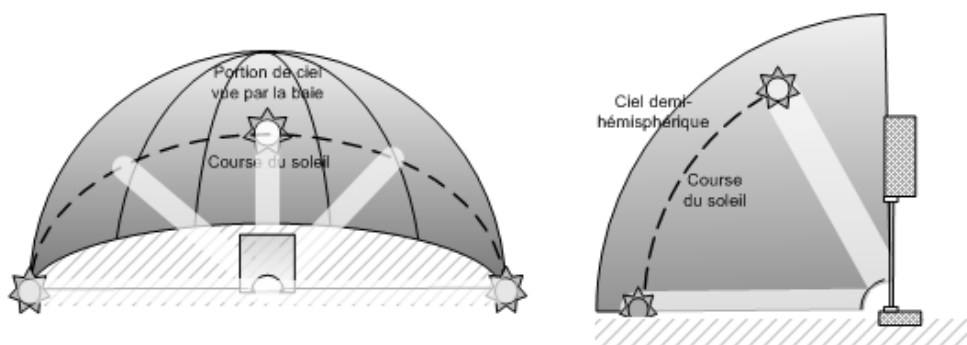


Figure 39 : Variations de l'angle d'incidence et l'angle de profil (hauteur du soleil corrigée) sur le vitrage pour une baie verticale orientée sud

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.

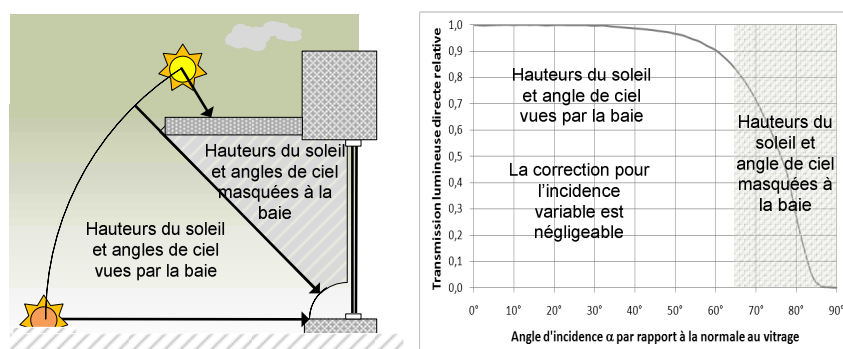


Figure 40 : Exemple d'effet sélectif pour les masques liés à l'ouvrage sur les plages de variations de l'incidence du rayonnement du soleil sur le vitrage

4.3.1 Formules générales

4.3.1.1 Paroi transparente ou translucide sans protection rapportée en place

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

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	$Sw3_{sp-c,b}$	$Sw3_{sp-e,b}$

Tableau 13 : Sorties des règles Th-S pour les cas courants de baies sans protection rapportée

Note : dans ce cas de figure, 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):

$$\begin{bmatrix} Sw1_{sp-c,b} \\ Sw2_{sp-c,b} \\ Sw3_{sp-c,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,C} \cdot F_{bati_dir}^{fs,C} \cdot F_{iv_dir}^{fs,C} + (1 - R_{dir}^{fs,C}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \cdot F_{iv_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{w1}^C \\ S_{w2}^C \\ S_{w3}^C \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$Sw_{sp-c,b} = Sw1_{sp-c,b} + Sw2_{sp-c,b} + Sw3_{sp-c,b} \quad (2)$$

- En conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E) :

$$\begin{bmatrix} Sw1_{sp-e,b} \\ Sw2_{sp-e,b} \\ Sw3_{sp-e,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,E} \cdot F_{bati_dir}^{fs,E} \cdot F_{iv_dir}^{fs,E} + (1 - R_{dir}^{fs,E}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \cdot F_{iv_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{w1}^E \\ S_{w2}^E \\ S_{w3}^E \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Sw_{sp-e,b} = Sw1_{sp-e,b} + Sw2_{sp-e,b} + Sw3_{sp-e,b} \quad (4)$$

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 chapitre 4.3.2.2 ;
- $F_{iv_dir}^{fs,C}$, $F_{iv_dir}^{fs,E}$ 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 chapitre 4.3.2.3 ;

- $R_{dir}^{fs,C}$ 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 16** (chapitre 4.3.2.1).

4.3.1.2 Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées en place

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

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	$Sw3_{ap-c,b}$	$Sw3_{ap-e,b}$

Tableau 14 : Sorties des règles Th-S pour les cas courants de baies avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées

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):

$$\begin{bmatrix} Sw1_{ap-c,b} \\ Sw2_{ap-c,b} \\ Sw3_{ap-c,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,C} \cdot F_{bati_dir}^{fs,C} \cdot F_{iv_dir}^{fs,C} + (1 - R_{dir}^{fs,C}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \cdot F_{iv_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{ws1}^C \\ S_{ws2}^C \\ S_{ws3}^C \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$Sw_{ap-c,b} = Sw1_{ap-c,b} + Sw2_{ap-c,b} + Sw3_{ap-c,b} \quad (6)$$

- En conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E) :

$$\begin{bmatrix} Sw1_{ap-e,b} \\ Sw2_{ap-e,b} \\ Sw3_{ap-e,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,E} \cdot F_{bati_dir}^{fs,E} \cdot F_{iv_dir}^{fs,E} + (1 - R_{dir}^{fs,E}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \cdot F_{iv_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{ws1}^E \\ S_{ws2}^E \\ S_{ws3}^E \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$Sw_{ap-e,b} = Sw1_{ap-e,b} + Sw2_{ap-e,b} + Sw3_{ap-e,b} \quad (8)$$

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 chapitre 4.3.2.2 ;
- $F_{iv_dir}^{fs,C}$, $F_{iv_dir}^{fs,E}$ 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 chapitre 4.3.2.3 ;
- $R_{dir}^{fs,C}$ 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 16** (chapitre 4.3.2.1).

4.3.1.3 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 :

Incidence	Composante intérieure	Résultat de l'application de la méthode	
		C	E
<i>Directe quelconque</i>	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	$Sw3_{ap,dir-c,b}(\eta,\alpha)$	$Sw3_{ap,dir-e,b}(\eta,\alpha)$
<i>Diffuse</i>	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	$Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha)$	$Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha)$
<i>Réfléchie</i>	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	$Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha)$	$Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha)$

Tableau 15 : Sorties des règles Th-S pour les cas courants avec protection rapportée à lames inclinées en place

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):

$$Sw1_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws1,dir}^C(\eta, \alpha) \quad (9)$$

$$Sw1_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws1,dif}^C(\alpha) \quad (10)$$

$$Sw1_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws1,ref}^C(\alpha) \quad (11)$$

$$Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws2}^C(\eta, \alpha) \quad (12)$$

$$Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws3}^C(\eta, \alpha) \quad (12)$$

$$Sw2_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws2}^C(\eta, \alpha) \quad (13)$$

$$Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws3}^C(\eta, \alpha) \quad (13)$$

$$Sw2_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws2}^C(\eta, \alpha) \quad (14)$$

$$Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws3}^C(\eta, \alpha) \quad (14)$$

$$Sw_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = Sw1_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) + Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) + Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) \quad (15)$$

$$Sw_{ap,dif-c,b}(\alpha) = Sw1_{ap,dif-c,b}(\alpha) + Sw2_{ap,dif-c,b}(\alpha) + Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha)$$

$$Sw_{ap,ref-c,b}(\alpha) = Sw1_{ap,ref-c,b}(\alpha) + Sw2_{ap,ref-c,b}(\alpha) + Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha)$$

- En conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E) :

$$Sw1_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws1,dir}^E(\eta, \alpha) \quad (16)$$

$$Sw1_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws1,dif}^E(\alpha) \quad (17)$$

$$Sw1_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws1,ref}^E(\alpha) \quad (18)$$

$$Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws2}^E(\eta, \alpha) \quad (19)$$

$$Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws3}^E(\eta, \alpha) \quad (19)$$

$$Sw2_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws2}^E(\eta, \alpha) \quad (20)$$

$$Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws3}^E(\eta, \alpha) \quad (20)$$

$$Sw2_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws2}^E(\eta, \alpha) \quad (21)$$

$$Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws3}^E(\eta, \alpha) \quad (21)$$

$$Sw_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = Sw1_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) + Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) + Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) \quad (22)$$

$$Sw_{ap,dif-e,b}(\alpha) = Sw1_{ap,dif-e,b}(\alpha) + Sw2_{ap,dif-e,b}(\alpha) + Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha)$$

$$Sw_{ap,ref-e,b}(\alpha) = Sw1_{ap,ref-e,b}(\alpha) + Sw2_{ap,ref-e,b}(\alpha) + Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha)$$

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 chapitre 4.3.2.2 ;
- $F_{iv_dir}^{fs,C}$, $F_{iv_dir}^{fs,E}$ 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 chapitre 4.3.2.3.

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 (12), (13) et (14) deviennent donc:

$$\begin{aligned} Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) &= F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws2}^C(\eta, \alpha) \\ Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) &= F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws3}^C(\eta, \alpha) \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} Sw2_{ap,dif-c,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws2}^C(\eta_\alpha, \alpha) \\ Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws3}^C(\eta_\alpha, \alpha) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} Sw2_{ap,ref-c,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws2}^C(\eta_\alpha, \alpha) \\ Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws3}^C(\eta_\alpha, \alpha) \end{aligned} \quad (25)$$

En conditions E, pour une gestion en suivi solaire (suntracking), les relations (19), (20), et (21) deviennent donc:

$$\begin{aligned} Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) &= F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws2}^E(\eta, \alpha) \\ Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) &= F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws3}^E(\eta, \alpha) \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} Sw2_{ap,dif-e,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws2}^E(\eta_\alpha, \alpha) \\ Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws3}^E(\eta_\alpha, \alpha) \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} Sw2_{ap,ref-e,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws2}^E(\eta_\alpha, \alpha) \\ Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha) &= F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws3}^E(\eta_\alpha, \alpha) \end{aligned} \quad (28)$$

4.3.2 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 direct 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.

4.3.2.1 Distinction entre rayonnement direct du soleil et diffus

On introduit ci-dessous les pourcentages de rayonnement direct du soleil $R_{dir}^{fs,C}$ et $R_{dir}^{fs,E}$, selon plusieurs orientations et inclinaisons de la baie. Pour une baie d'inclinaison et orientation intermédiaires entre deux valeurs, les ratios $R_{dir}^{fs,C}$ et $R_{dir}^{fs,E}$ seront déterminés par interpolation linéaire.

Inclinaison de la paroi	Orientations de la paroi	$R_{dir}^{fs,C}$	$R_{dir}^{fs,E}$
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

Tableau 16 : Part du rayonnement direct du soleil dans le rayonnement total atteignant une surface selon son inclinaison et son orientation

4.3.2.2 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 :

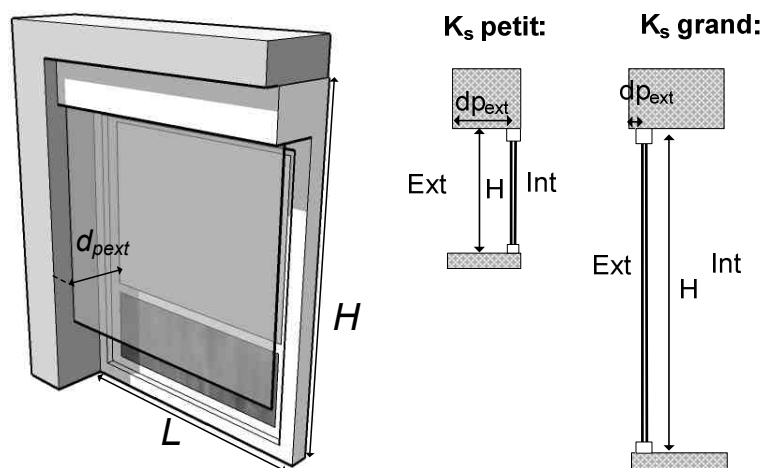


Figure 41 : Coefficient caractéristique de la baie K_s

$$K_s = \frac{L \cdot H}{d_{pext} \cdot (L + H)} \quad (29)$$

Où :

- d_{pext} 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)

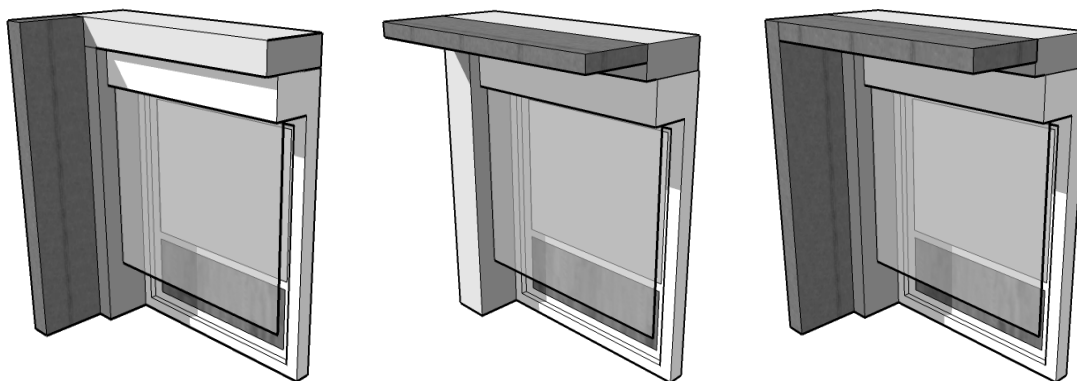


Figure 42: masques proches de type débords latéraux et surplombs

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 des règles Th-S, ce cas de figure se traduit par :

$$F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,C}} = F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,E}} = F_{\text{bati_dif}}^{\text{fs}} = 1$$

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 $d_{\text{pext}} < 5 \text{ cm}$ ou $K_s > 25$, l'impact du contour de la baie est négligé :

$$F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,C}} = F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,E}} = F_{\text{bati_dif}}^{\text{fs}} = 1$$

Sinon, les coefficients de correction pour le rayonnement direct du soleil dépendent de l'orientation de la paroi et des conditions de référence C ($F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,C}}$) ou E ($F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,E}}$).

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

Tableau 17 : Valeurs du coefficient de prise en compte de l'intégration à l'ouvrage de la paroi vitrée pour le rayonnement direct (soleil) $F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,C}}$ et $F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,E}}$ selon la valeur de K_s

Le coefficient de correction pour le rayonnement diffus $F_{\text{bati_dif}}^{\text{fs}}$ ne dépend pas de l'orientation de la paroi :

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

Tableau 18 : Valeurs du coefficient de prise en compte de l'intégration à l'ouvrage de la paroi vitrée pour le rayonnement diffus $F_{\text{bati_dif}}^{\text{IS}}$ selon la valeur de K_s

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

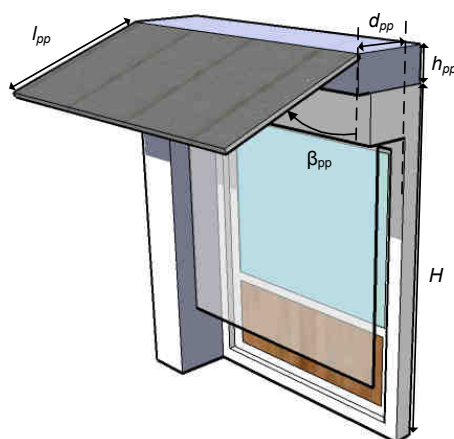


Figure 43 : Illustration: masque à projection inclinée

Pour le rayonnement solaire direct, on introduit un coefficient caractéristique des dimensions du masque à projection:

$$r_{pp} = \frac{l_{pp}}{H} \quad (30)$$

Où :

- l_{pp} est la longueur du masque à projection,
- H est la hauteur de la baie, telle que définie en **Figure 43**.

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'éclairement direct du soleil :

r_{pp}	K_s	Orientation de la baie	Cond.	$\beta_{pp} = 45^\circ$			$\beta_{pp} = 90^\circ$		
				$\tau=0$	$\tau=0,2$ $C_o=0$	$\tau=0,2$ $C_o=0,2$	$\tau=0$	$\tau=0,2$ $C_o=0$	$\tau=0,2$ $C_o=0,2$
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
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

Tableau 19 : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement direct (soleil) $F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs}}$

Pour l'éclairement diffus du ciel et réfléchi par le sol :

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

Tableau 20 : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement diffus (ciel et sol) $F_{\text{bati_dif}}^{\text{fs}}$

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 dans les règles Th-S, au travers d'une méthode simplifiée. Le coefficient intègre également la correction associée à l'épaisseur de la paroi opaque.

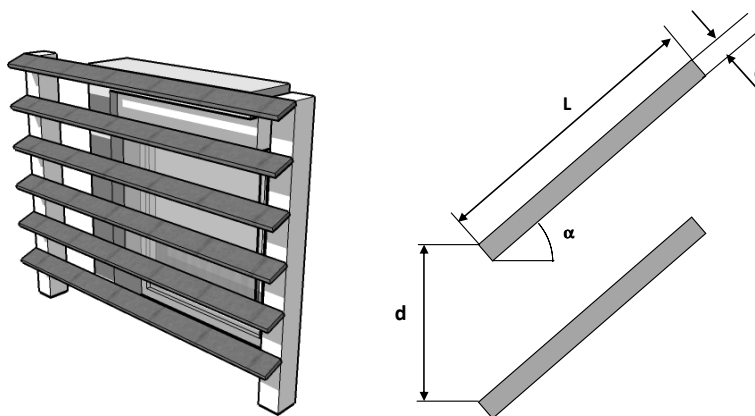


Figure 44 : Brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées

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.

	$\tau_{e,dir-h}(\eta)$							$\tau_{e,dif-ciel-h}$	$\tau_{e,ref-sol-h}$
η	0	15	30	45	60	75	90	-	-

Tableau 21 : 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

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 21**, le $\tau_{dir-h}(\eta)$ 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 chapitre 0.

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),

$$\omega(t) = \text{Min}[90; \arccos(\cos(\gamma(t)) \cdot \cos(\Psi(t) - \theta))] \quad (31)$$

- $Drp(t)$, flux solaire direct incident sur le plan extérieur du brise-soleil (en W/m^2) :

$$Drp(t) = I_{Dn}(t) \cdot \cos(\omega(t)) \quad (32)$$

- $\eta(t)$, 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) :

$$\eta(t) = \arctan\left(\frac{\tan(\gamma(t))}{\cos(\Psi(t) - \theta)}\right) \quad (33)$$

- $Drp^*(t)$ le flux solaire direct transmis par le brise-soleil sur la paroi considérée à une heure donnée t (en W/m^2) :

$$Drp^*(t) = \tau_{e,dir-h}(\eta(t)) \cdot Drp(t) \quad (34)$$

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 21**. Au final, le coefficient de correction du brise-soleil seul pour le rayonnement direct du soleil est le suivant :

$$F_{bati,dir,BS}^{fs} = \frac{\sum_{t=t1}^{t2} Drp^*(t)}{\sum_{t=t1}^{t2} Drp(t)} \quad (35)$$

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) :

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 ($t1 = 7 297$, $t2 = 8 760$)

Tableau 22 : 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

- **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 :

$$F_{bati,dif,BS}^{fs} = \frac{R_{dif}^{fs} \cdot \tau_{e,dif-ciel-h} + R_{ref}^{fs} \cdot \tau_{e,ref-sol-h}}{R_{dif}^{fs} + R_{ref}^{fs}} \quad (36)$$

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 :

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

Tableau 23 : 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

- **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 :

$$\begin{aligned}
 F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,Cclim}} &= F_{\text{bati_dir(encadrement)}}^{\text{fs,Cclim}} \times F_{\text{bati_dir_BS}}^{\text{fs,Cclim}} \\
 F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,Cch}} &= F_{\text{bati_dir(encadrement)}}^{\text{fs,Cch}} \times F_{\text{bati_dir_BS}}^{\text{fs,Cch}} \\
 F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,E}} &= F_{\text{bati_dir(encadrement)}}^{\text{fs,E}} \times F_{\text{bati_dir_BS}}^{\text{fs,E}} \\
 F_{\text{bati_dif}}^{\text{fs}} &= F_{\text{bati_dif(encadrement)}}^{\text{fs}} \times F_{\text{bati_dif_BS}}^{\text{fs}}
 \end{aligned}
 \tag{37}$$

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 17** et du **Tableau 18**.

- **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 K_s de l'encadrement de la baie.

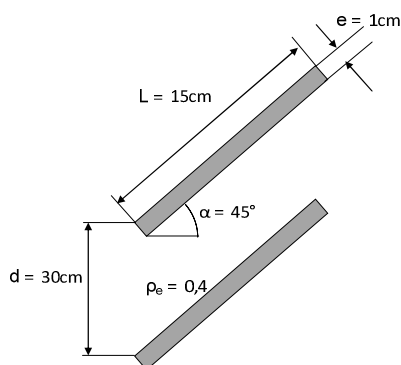


Figure 45 : Caractéristiques types de brise-soleil à lames fixes inclinées

L'application de la méthode de la norme XP P50-777 fournit les caractéristiques énergétiques suivantes :

	$\tau_{e,dir-h}(\eta)$							$\tau_{e,dif-ciel-h}$	$\tau_{e,ref-sol-h}$
η	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

Tableau 24 : Résultats d'application de la méthode de la norme XP P50-777 pour un brise-soleil avec les caractéristiques types décrites ci-dessus

Sur cette base, le calcul des coefficients de correction aboutit aux résultats suivants :

$F_{bati_dir}^{fs}$				
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

Tableau 25 : 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) $F_{bati_dif}^{fs}$

4.3.2.3 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 :

		$F_{riv_dir}^{fs,C}$		$F_{riv_dir}^{fs,E}$	$F_{riv_dif}^{fs}$
		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	

Tableau 26 : Valeurs du coefficient de correction lié à l'incidence variable $F_{riv_dir}^{fs,C}$, $F_{riv_dir}^{fs,E}$ et $F_{riv_dif}^{fs}$

4.4 Application de la méthode pour les cas particuliers

Dans ce chapitre sont traitées les parois translucides horizontales à base de polycarbonate multialvéolaire dans les configurations suivantes :

- Paroi polycarbonate multi-alvéolaire sans protection solaire rapportées.
- Paroi polycarbonate multi-alvéolaire opales (majoritairement diffusant).
- Paroi polycarbonate multi-alvéolaire dont les alvéoles sont symétriques.
- Paroi polycarbonate multi-alvéolaire dont le facteur de réémission thermique S_{g2} (cf.4.4.1) ne dépasse pas la valeur de 0,08.
- Paroi polycarbonate multi-alvéolaire à remplissage gazeux ; sont exclus en particulier les matériaux polycarbonates remplis de silice nano-structurée.

Les chapitres suivant traitent du calcul des composantes du facteur de transmission de l'énergie solaire pour le matériau polycarbonate seul, puis de son intégration dans des procédés complets de type lanterneaux ou bardage/couverture.

De manière générale, les normes existantes permettent d'estimer le facteur solaire dans les conditions de référence (conditions aux limites hivernales). Néanmoins, du fait de la faible réémission thermique de ces procédés et de l'absence de protection solaire rapportée, on supposera que ces conditions sont également applicables pour un calcul de dimensionnement :

$$Sw_{1,2}^C = Sw_{1,2}^E = Sw_{1,2}$$

4.4.1 Plaque de polycarbonate seule

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

$$S_{g1} = F_{iv-PCA}^{fs} \times \tau_{e,n-h} \quad (39)$$

$$S_{g2} = F_{iv-PCA}^{fs} \times q_i \quad (39)$$

Où :

- $\tau_{e,n-h}$: Transmission énergétique normale-hémisphérique de la plaque de polycarbonate, déterminée selon le projet de norme prEN 16153
- q_i : Facteur de réémission thermique, déterminée selon le projet de norme prEN 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**.

4.4.2 Lanterneaux ponctuels

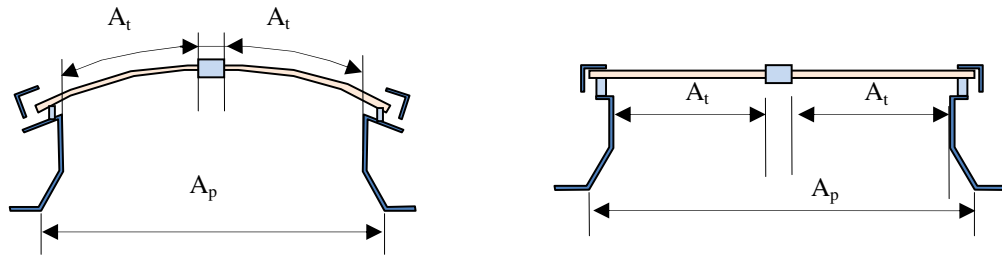


Figure 46 : Dimensions d'un lanterneau ponctuel

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

$$S_{w1} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{g1} \quad (41)$$

$$S_{w2} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{g2} + \frac{\alpha_{e2} \cdot L_2 \cdot \psi_2}{A_p \cdot h_e} + \frac{\alpha_{e1} \cdot L_1 \cdot \psi_1}{A_p \cdot h_e} \cdot r_v \quad (41)$$

Où :

- **Sg₁** est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde, déterminé au paragraphe 0 pour une paroi horizontale,
- **Sg₂** est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur, déterminé au paragraphe 0 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 les Règles Th-U, chapitre A3.
- **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 les Règles Th-U, chapitre A3.

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

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

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

$$r_v = 0,55$$

4.4.3 Lanterneaux filants

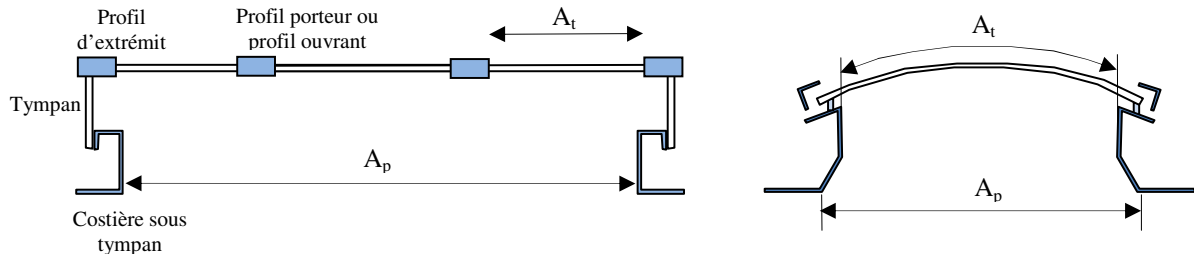


Figure 47 : Dimensions d'un lanterneau filant

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

$$S_{w1} = \frac{\sum_i A_{t,i} \times S_{g1,i}}{A_p} \quad (43)$$

$$S_{w1} = \frac{\sum_i A_{t,i} \times S_{g2,i}}{A_p} + \frac{\alpha_{e2} \cdot L_2 \cdot \psi_2 + \alpha_{e3} \cdot L_3 \cdot \psi_3}{A_p \cdot h_e} + \left(\frac{\alpha_{e1} \cdot L_1 \cdot \psi_1 + \alpha_{e4} \cdot L_4 \cdot \psi_4}{A_p \cdot h_e} \right) \quad (43)$$

Où :

- **Sg_{1,i}** est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde de chaque plaque i, déterminé au paragraphe 0 en fonction de son orientation
- **Sg_{2,i}** est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur de chaque plaque i, déterminé au paragraphe 0 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 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 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.
- **L₁** est le périmètre intérieur de la costière longitudinale, exprimé en m.
- **α_{e1}** est le coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière longitudinale.
- **Ψ₁** est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière longitudinale, exprimé en W/(m.K) et calculé selon les Règles Th-U, chapitre A3.

- 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) et calculé selon les Règles Th-U, chapitre A3,
- 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) et calculé selon les Règles Th-U, chapitre A3.
- 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) et calculé selon les Règles Th-U, chapitre A3.

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

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

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

$$r_v = 0,55$$

4.4.4 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

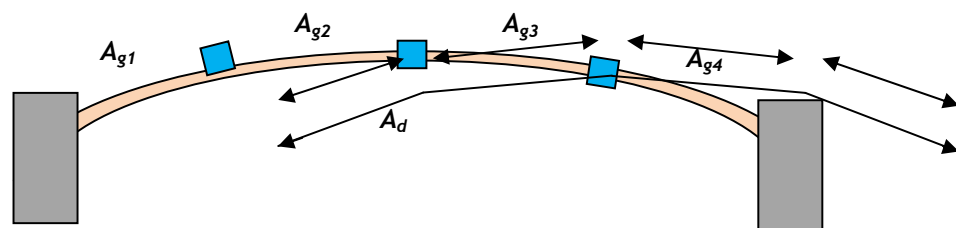


Figure 48 : Dimensions des verrières et bardages en polycarbonate

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

$$S_{wl} = \frac{\sum_i A_{g,i} \times S_{g1,i}}{A_d} \quad (45)$$

$$S_{wl} = \frac{\sum_i A_{g,i} \times S_{g2,i}}{A_d} + \frac{\alpha_{ef} \cdot L_f \cdot \Psi_f}{A_d \cdot h_e} \quad (45)$$

Où :

- **Sg_{1,i}** est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde de chaque plaque i, déterminé au paragraphe 0 en fonction de son orientation
- **Sg_{2,i}** est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur de chaque plaque i, déterminé au paragraphe 0 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 m².
- **A_d** est l'aire intérieure développée des éléments de bardage ou de couverture, sans tenir compte des éléments de fixation latéraux, exprimée en m².
- **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) et calculé selon les Règles Th-U, chapitre A3.

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

$$\alpha_{ef} = 0,60$$

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

5. Règles Th-S pour les parois opaques

La définition du facteur de transmission solaire d'une paroi opaque ne fait pas l'objet d'un contexte normatif spécifique. Les règles Th-S proposent donc une méthode de calcul, basée sur les propriétés thermiques de la paroi opaque considérée. Ces dernières sont déterminées conformément aux règles Th-U chapitre A4.

5.1 Application de la méthode dans le cas général

Le facteur de transmission solaire de la paroi opaque est déterminé pour les conditions aux limites C et E. Il n'est pas fait de distinction entre les incidences directe du soleil, diffuse du ciel ou réfléchi par le sol, ni sur les composante à l'intérieur des locaux : on ne considère qu'un facteur de transmission solaire global.

Incidence	Composante intérieure	Résultat de l'application de la méthode	
		C	E
<i>Toutes incidences</i>	Global	$S_{f-C,k}$	$S_{f-E,k}$

Tableau 27 : Facteurs solaires calculés pour les parois opaques

Les résultats sont calculés de la manière suivante :

$$\begin{aligned} S_{f-C,k} &= \alpha_k \cdot U_{k-C} \cdot R_{se-C} \\ S_{f-E,k} &= \alpha_k \cdot U_{k-E} \cdot R_{se-E} \end{aligned} \quad (46)$$

Où :

- α_k est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque ;
- U_{k-C} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions C, déterminée selon les règles Th-U et les normes associées en $W.m^{-2}.K^{-1}$;
- U_{k-E} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions E (voir équation (47)) en $W.m^{-2}.K^{-1}$;
- R_{se-C} et R_{se-E} sont les résistances thermiques superficielles extérieures (convection et rayonnement) en conditions C et E, exprimées en $m^2.K.W^{-1}$.

En l'absence de valeurs de α_k mesurées, les valeurs par défaut suivantes peuvent être utilisées :

Catégorie	Couleurs	Valeur de α_k par défaut
Clair	Blanc, jaune, orange, rouge clair	0,4
Moyen	Rouge sombre, vert clair, bleu clair, gris clair	0,6
Sombre	Brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen	0,8
Noir	Noir, brun sombre, bleu sombre, gris sombre	1,0

Tableau 28 : Valeurs de α_k par défaut pour les parois opaques

Les valeurs des résistances superficielles extérieures utilisées dans le cadre du présent chapitre sont les suivantes :

Inclinaison de la paroi β	R_{se-C} ($m^2.K.W^{-1}$)	R_{se-E} ($m^2.K.W^{-1}$)
Toute inclinaison	0,04	0,07

Tableau 29 : Résistances superficielles extérieures en conditions C et E utilisées dans les règles Th-S

Le coefficient de transmission thermique en conditions E, U_{k-E} , est calculé de la manière suivante :

$$\frac{1}{U_{k-E}} = \frac{1}{U_{k-C}} - (R_{se-C} + R_{si-C}) + (R_{se-E} + R_{si-E}) \quad (47)$$

Soit $\frac{1}{U_{k-E}} = \frac{1}{U_{k-C}} + 0,03$

Où R_{si-C} et R_{si-E} sont les résistances thermiques superficielles intérieures (convection et rayonnement) ($W/m^2.K$), en conditions C et E.

Les valeurs des résistances superficielles intérieures utilisées dans le cadre du présent chapitre sont les suivantes :

Inclinaison de la paroi β_k	R_{si-C} ($m^2.K.W^{-1}$)	R_{si-E} ($m^2.K.W^{-1}$)
0° (horizontale, flux ascendant)	0,10	0,10
90° (verticale)	0,13	0,13
180° (horizontale, flux descendant)	0,17	0,17

Tableau 30 : Résistances superficielles intérieures en conditions C et E

L'impact d'éventuelles protections rapportés, masques proches ou brise-soleils n'est pas pris en compte dans le cadre des règles Th-S.

5.2 Application de la méthode pour certains cas particuliers

5.2.1 Paroi opaque avec lame d'air extérieure ventilée

Les méthodes ci-dessous ne s'appliquent pas si l'une des deux faces de la lame d'air ventilée est revêtue d'une face possédant une émissivité thermique inférieure à 0,5 (barrières radiantes), ou si plusieurs lames d'air ventilées interviennent.

5.2.1.1 Paroi opaque avec lame d'air extérieure ventilée d'inclinaison β supérieure à 60° (verticale ou fortement inclinée)

Le présent paragraphe est valable pour une lame d'air extérieure munie d'ouvertures en position hautes et basses, supposée fortement ventilée, telle que représentée sur la figure ci-dessous :

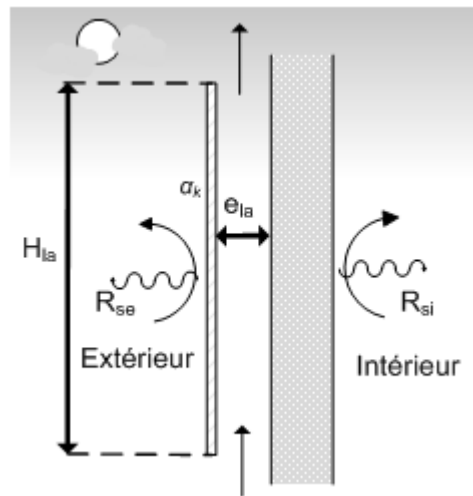


Figure 49 : Représentation d'une paroi opaque verticale à lame d'air extérieure ventilée

La circulation d'air dans la lame d'air est supposée n'avoir pour moteur que le tirage thermique.

Les facteurs solaires de la paroi deviennent les suivants :

$$\begin{aligned} S_{f-C,k} &= \alpha_k \cdot R_{se,C} \cdot K_{corr_la,C} \cdot U_{k-C} \\ S_{f-E,k} &= \alpha_k \cdot R_{se,E} \cdot K_{corr_la,E} \cdot U_{k-E} \end{aligned} \quad (48)$$

Où :

- α_k est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque (voir **Tableau 28**) ;
- R_{se-C} et R_{se-E} sont les résistances thermiques superficielles extérieures (convection et rayonnement, en $m^2.K.W^{-1}$), en conditions C et E ;
- U_{k-C} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions C, déterminée selon les règles Th-U et les normes associées en $W.m^{-2}.K^{-1}$;
- U_{k-E} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions E (voir équation (47)) en $W.m^{-2}.K^{-1}$;

- $K_{\text{corr_la,C}}$ et $K_{\text{corr_la,E}}$ sont des coefficients de corrections associés à la prise en compte de la lame d'air extérieure ventilée. On retient la même valeur pour les deux coefficients, à partir du tableau suivant. Soit e_{la} la largeur minimale des ouvertures en parties hautes et basses de la lame d'air et H_{la} sa hauteur :

e_{la} (m)	H_{la} (m)			
	2 ou moins		10 ou plus	
	$\alpha_k = 0,4$	$\alpha_k = 0,8$	$\alpha_k = 0,4$	$\alpha_k = 0,8$
0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,05	0,70	0,65	0,70	0,70
0,1	0,65	0,60	0,65	0,60
0,5	0,60	0,55	0,55	0,50

Tableau 31 : Cas des lames d'air verticales ventilées sur l'extérieur, valeurs du coefficient $K_{\text{corr_la,E}}$

5.2.1.2 Paroi opaque avec lame d'air extérieure ventilée Paroi opaque avec lame d'air extérieure ventilée d'inclinaison β inférieure ou égale à 30° (horizontale ou faiblement inclinée)

La circulation d'air dans la lame d'air, ayant pour moteur le vent, a pour effet d'augmenter les échanges thermiques de la paroi opaque avec l'extérieur et de diminuer son facteur solaire.

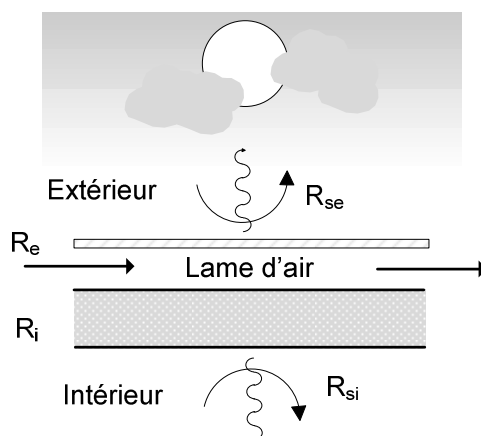


Figure50 : Représentation d'une paroi opaque horizontale à lame d'air extérieure ventilée

La valeur des facteurs solaires $S_{f-C,k}$ et $S_{f-E,k}$ est obtenue par interpolation entre les valeurs obtenues dans le cas d'une lame d'air non-ventilée, et d'une lame d'air très fortement ventilée.

Les facteurs de transmission solaire de la paroi sont déterminés par les relations suivantes:

$$\begin{aligned} S_{f-C,k} &= \alpha_k \cdot R_{se,C} \cdot \left[K_{qs} \cdot U_{k-C,non-ventilée} + (1 - K_{qs}) \cdot U_{k-C,eq_tres_ventilée} \right] \\ S_{f-E,k} &= \alpha_k \cdot R_{se,E} \cdot \left[K_{qs} \cdot U_{k-E,non-ventilée} + (1 - K_{qs}) \cdot U_{k-E,eq_tres_ventilée} \right] \end{aligned} \quad (49)$$

Où :

- α_k est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque (voir **Tableau 28**).
- R_{se-C} et R_{se-E} sont les résistances thermiques superficielles extérieures (convection et rayonnement, en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$), en conditions C et E ;

- $U_{k-C, \text{non-ventilée}}$ et $U_{k-E, \text{non-ventilée}}$ les conductivités thermiques dans l'hypothèse d'une lame d'air non-ventilée en conditions C et E, sont obtenues par les relations suivantes :

$$\begin{aligned} U_{k-C, \text{non-ventilée}} &= \frac{1}{R_e + R_i + R_{la} + R_{se,C} + R_{si,C}} \\ U_{k-E, \text{non-ventilée}} &= \frac{1}{R_e + R_i + R_{la} + R_{se,E} + R_{si,E}} \end{aligned} \quad (50)$$

Avec :

- o R_i est la résistance thermique de la partie de la paroi en contact avec l'intérieur, en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$;
 - o R_e est la résistance thermique de la partie de la paroi en contact avec l'extérieur, en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$;
 - o R_{la} est la résistance thermique de la lame d'air, en supposant celle-ci fermée et non-ventilée, $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.
- $U_{k-C, \text{eq-très-ventilée}}$ et $U_{k-E, \text{eq-très-ventilée}}$ les conductivités thermiques équivalents dans l'hypothèse d'une lame d'air très fortement ventilée en conditions C et E, sont obtenues par les relations empiriques suivantes :

$$\begin{aligned} U_{k-C, \text{eq-très-ventilée}} &= \frac{1}{(R_e + R_{se-C} + 0,06) \times (R_i + R_{si-C} + 0,06) \times \left(\frac{1}{R_e + R_{se-C} + 0,06} \right)} \\ U_{k-E, \text{eq-très-ventilée}} &= \frac{1}{(R_e + R_{se-E} + 0,06) \times (R_i + R_{si-E} + 0,06) \times \left(\frac{1}{R_e + R_{se-E} + 0,06} \right)} \end{aligned} \quad (51)$$

- K_{qs} , coefficient caractéristique des interactions entre le vent et la lame d'air est déterminé à partir du tableau suivant, à partir de :
 - o $S_{EA,r}$ surface de la plus petite des différentes sections latérales d'ouverture, en m^2 ;
 - o $A_{e,k,r}$ surface totale de la face intérieure de la partie en contact avec l'extérieur de la paroi opaque, en m^2 .

Rapport $\frac{S_{EA}}{A_{e,k}}$	Situation de la lame d'air	
	Site ouvert (exposé aux vents), et lame d'air traversante ⁷	Autres cas
0,0 %	1,00	1,00
0,1 %	0,80	1,00
0,2 %	0,65	0,85
0,5 %	0,50	0,70
1,0 %	0,35	0,55
2,0 %	0,20	0,45
5,0 %	0,05	0,25
10,0 %	0,00	0,10
20,0 % ou plus	0,00	0,00

Tableau 32 : Valeurs du coefficient caractéristique K_{qs} pour le cas des lames d'air ventilées sur l'extérieur et proches de l'horizontale

⁷ La lame d'air est considérée traversante si pour chaque orientation la surface d'ouverture latérale est inférieure à 75% de la surface totale d'ouverture latérale de la lame d'air.

5.2.2 Paroi opaque végétalisée

5.2.2.1 Paroi opaque d'inclinaison β supérieure à 60° (verticale ou très fortement inclinée)

L'impact de la végétalisation pour ce type de paroi peut être négligé, ou traité par une procédure particulière.

5.2.2.2 Paroi opaque d'inclinaison β inférieure ou égale à 60° (horizontale ou inclinée autour de 45°)

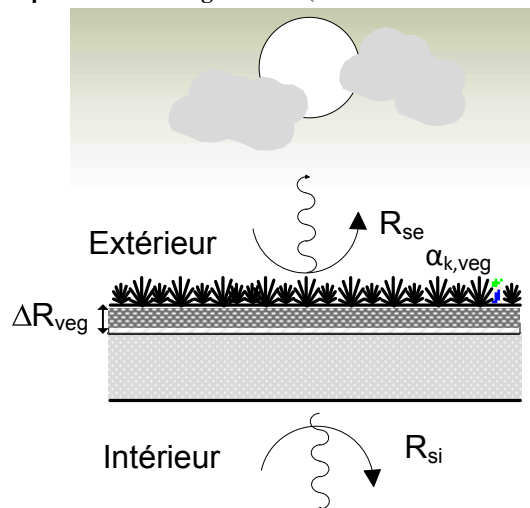


Figure 51 : Paroi opaque horizontale végétalisée

La méthode s'applique aux parois végétalisées horizontale ou faiblement inclinées, de type élément porteur lourd (béton) ou sur éléments porteurs légers (bac acier ou bois). Elle se limite aux végétalisations extensive et semi-intensive.

Tout autre type de végétalisation (toitures jardins,...) doit être traité par une procédure spécifique.

Le facteur de transmission solaire de la paroi végétalisée en conditions C et E sont déterminés par les relations suivantes :

$$S_{f-E,k} = \alpha_{k,veg} \cdot U_{k-E,veg \text{ sec}} \cdot R_{se,E} \cdot [100 - \Delta t_{hum}]$$

$$S_{f-C,k} = \frac{1}{2} \times S_{f-E,k} \quad (52)$$

Avec :

- $\alpha_{k,veg}$ est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque en prenant en compte la couche végétalisée. Il est déterminé à l'aide du tableau suivant :

	Type de végétalisation	
	Extensive	Semi-intensive
$\alpha_{k,veg}$	0,70	0,40

Tableau 33 : Coefficient d'absorption énergétique équivalent de la paroi végétalisée

- $U_{k-E,veg \text{ sec}}$ est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions E, en prenant en compte les résistances thermiques additionnelles

dues à la couche de drainage et au substrat sec (voir équation (47)) en $W.m^{-2}.K^{-1}$. Il peut être déterminé par la relation suivante :

$$\frac{1}{U_{k-E,veg\ sec}} = \frac{1}{U_{k-C}} - (R_{se-C} + R_{si-C}) + (R_{se-E} + R_{si-E}) + \Delta R_{veg} \quad (53)$$

Avec :

- o U_{k-C} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions C, sans prendre en compte la végétalisation, déterminée selon les règles Th-U et les normes associées, en $W.m^{-2}.K^{-1}$;
- o ΔR_{veg} est la résistance thermique additionnelle associée à la couche de drainage et au substrat sec, en $m^2.K.W^{-1}$. A défaut de valeur, le tableau suivant peut être utilisé :

Type de végétalisation	Drainage en matériau polystyrène		Drainage d'autre type	
	Extensive	Semi-intensive	Extensive	Semi-intensive
Epaisseur de substrat	6 cm	14 cm	6 cm	14 cm
ΔR_{veg} ($m^2.K.W^{-1}$)	0,30	0,45	0,15	0,30

Tableau 34 : Gains en résistance thermique associé au substrat sec et au drainage, en fonction des caractéristiques de la toiture végétalisée

- R_{se-E} est la résistance thermique superficielle extérieure (convection et rayonnement) en conditions E, exprimée en $m^2.K.W^{-1}$;
- Δt_{hum} représente le pourcentage de temps durant lequel le substrat reste humide lors de la saison estivale, exprimé en %. A défaut de valeurs, le tableau suivant peut être utilisé :

Type de végétalisation	Extensive		Semi-intensive	
Zone climatique (ville)	Sans irrigation	Avec irrigation automatique de 20mm d'eau par semaine	Sans irrigation	Avec irrigation automatique de 20mm d'eau par semaine
H1a (Trappes) H1b (Nancy) H1c (Macon)	25	75	20	50
H2a (Rennes) H2b (la Rochelle) H2c (Agen)	10	35	10	20
H2d (Carpentras) H3 (Nice)	5	20	5	15

Tableau 35 : Pourcentage de temps durant lequel le substrat est humide en période estivale, en fonction des caractéristiques de la toiture et de la zone climatique

5.2.2.3 Valeurs par défaut

A défaut de valeurs calculées selon les paragraphes précédents, les facteurs solaires des toitures végétalisées s'expriment en fonction de la résistance thermique de l'isolant de la toiture, du type de végétalisation employée et de la zone climatique.

Le tableau suivant donne les facteurs solaires des toitures végétalisées ne possédant pas de système d'irrigation automatisé :

Type de végétalisation	Zone climatique	Facteur solaire en condition estivale $S_{f-E,v}$				Facteur solaire en condition de consommation $S_{f-C,v}$			
		R isolant toiture, en m ² .K/W				R isolant toiture, en m ² .K/W			
		0	2	5	7	0	2	5	7
Extensive	H1a / H1b / H1c	0,115	0,020	0,010	0,010	0,055	0,005	0,005	0,005
	H2a / H2b / H2c	0,120	0,020	0,010	0,010	0,060	0,010	0,005	0,005
	H2d / H3	0,130	0,025	0,010	0,010	0,060	0,010	0,005	0,005
Semi-intensive	H1a / H1b / H1c	0,050	0,010	0,005	0,005	0,020	0,005	0,005	0,005
	H2a / H2b / H2c	0,050	0,010	0,005	0,005	0,025	0,005	0,005	0,005
	H2d / H3	0,055	0,015	0,005	0,005	0,025	0,005	0,005	0,005

Tableau 36 : Valeurs par défaut de facteurs de transmission solaire pour les parois opaques végétalisées

6. Règles Th-S pour les ponts thermiques

La définition du facteur de transmission solaire des ponts thermiques ne fait pas l'objet d'un contexte normatif spécifique. Les règles Th-S proposent donc une méthode de calcul, basée sur les propriétés thermiques du linéique considéré. Ces dernières sont déterminées conformément aux règles Th-U et aux normes associées.

Le facteur de transmission solaire d'un pont thermique est déterminé pour les conditions aux limites C et E. Il n'est pas fait de distinction entre les incidences directe du soleil, diffuse du ciel ou réfléchi par le sol, ni sur les composante à l'intérieur des locaux : on ne considère qu'un facteur de transmission solaire global.

Soit ψ_{l-C} est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique en conditions C, déterminée selon les règles Th-U et les normes associées en $W.m^{-1}.K^{-1}$. Le facteur solaire du pont thermique de liaison peut être négligé si $\psi_{l-C} \leq 0,08 W.m^{-1}.K^{-1}$.

Incidence	Composante intérieure	Résultat de l'application de la méthode	
		C	E
Toutes incidences	Global	$S_{f-C,l}$	$S_{f-E,l}$

Tableau 37 : Facteurs solaires calculés pour les ponts thermiques

Notes : les ponts thermiques intégrés aux parois opaques ne sont pas concernés par le présent paragraphe. Ils sont pris en compte dans le calcul du facteur solaire de la paroi considérée au travers de son coefficient de transmission thermique.

Le facteur de transmission solaire d'un pont thermique s'exprime en mètres.

6.1 Ponts thermiques de liaison au droit d'une surface plane

Le facteur solaire dépend du coefficient d'absorption de la surface plane au droit du pont thermique.

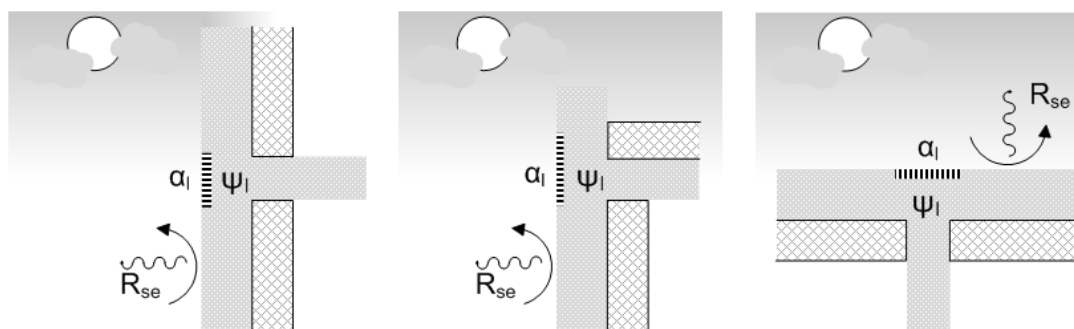


Figure 52 : Ponts thermiques de liaison au droit d'une surface plane

Si la surface plane est une paroi végétalisée ou une surface en contact avec une lame d'air ventilée, le facteur de transmission solaire du pont thermique de liaison est négligé.

Les résultats sont calculés de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 S_{f-C,l} &= a_l \cdot \psi_{l-C} \cdot R_{se-C} \\
 S_{f-E,l} &= a_l \cdot \psi_{l-E} \cdot R_{se-E}
 \end{aligned}
 \tag{54}$$

Où :

- a_l est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque au droit de la liaison, pouvant être déterminé par défaut selon le **Tableau 28**,
- ψ_{l-C} est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique en conditions C, déterminée selon les règles Th-U et les normes associées en $W.m^{-1}.K^{-1}$,
- ψ_{l-E} est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique en conditions E, en $W.m^{-1}.K^{-1}$, qui peut être estimé par la relation suivante :

$$\frac{1}{\psi_{l-E}} = \frac{1}{\psi_{l-C}} - (R_{se-C} + R_{si-C}) + (R_{se-E} + R_{si-E}) \quad (55)$$

Où R_{si-C} et R_{si-E} sont les résistances thermiques superficielles intérieures (convection et rayonnement) ($W/m^2.K$), en conditions C et E, dont les valeurs peuvent être obtenues au **Tableau 30**.

- R_{se-C} et R_{se-E} sont les résistances thermiques superficielles extérieures (convection et rayonnement) en conditions C et E, exprimées en $m^2.K.W^{-1}$.

6.2 Ponts thermiques de liaison au droit d'un débord

Le pont thermique peut se situer au droit d'un débord vertical (mur de refend) ou d'un débord horizontal (balcons, dépassement du plancher...).

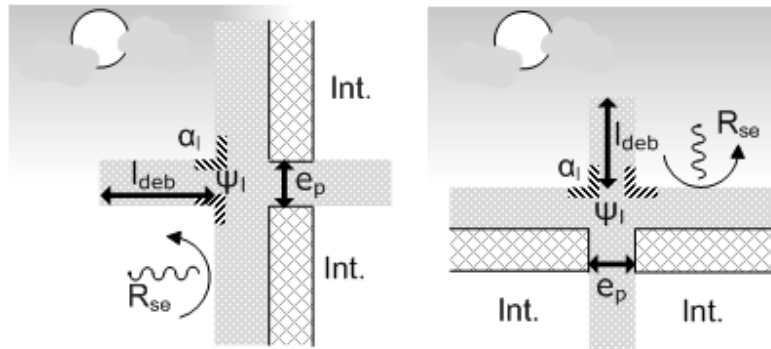


Figure 53 : Ponts thermiques de liaison au droit d'un débord

Si la longueur du débord l_{deb} est inférieure à l'épaisseur du refend du mur e_p , on assimile la liaison au cas d'un pont thermique au droit d'une surface plane, et on applique l'équation (54).

Dans le cas contraire, on se réfère aux paragraphes suivants.

Pour un débord horizontal ou incliné à moins de 45° (paroi opaque d'inclinaison β_k comprise entre 45° et 135°), on considère que seule la partie supérieure du pont thermique est exposée au rayonnement. L'orientation et l'inclinaison du pont thermique sont celles de la paroi opaque verticale ou inclinée.

Pour un débord vertical ou incliné à plus de 45° (paroi opaque β_k comprise entre 0° et 45°), à un instant donné, seule une moitié du pont thermique (une face latérale du débord) est exposée au rayonnement. Le pont thermique doit être décomposé en deux sous-composants ponts thermiques, dont les orientations et inclinaisons sont celles des deux faces latérales du débord.

Dans tous les cas, les facteurs de transmission solaire du pont thermique sont déterminés par la relation suivante :

$$\begin{aligned} S_{f-C,l} &= a_l \cdot Rat_{p\sup} \cdot \psi_{l-C} \cdot R_{se-C} \\ S_{f-E,l} &= a_l \cdot Rat_{p\sup} \cdot \psi_{l-E} \cdot R_{se-E} \end{aligned} \quad (56)$$

Où :

- ψ_{l-C} et ψ_{l-E} sont le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique en conditions C et E, déterminés pour le pont thermique dans son ensemble (ses deux parties) $W.m^{-1}.K^{-1}$;
- $Rat_{p\sup}$ est la part des déperditions totales du pont thermique affecté à la partie considérée. Il s'agit de la partie supérieure pour un débord horizontal ou incliné à moins de 45° , et de l'une des deux parties latérales pour un débord vertical ou incliné à plus de 45° . Sa valeur peut être connue en se référant au chapitre A5 Th-U associé aux ponts thermiques. En l'absence d'informations, la valeur de 0,5 peut être retenue par défaut.

6.3 Ponts thermiques de liaison en angle rentrant

Le pont thermique a la configuration suivante :

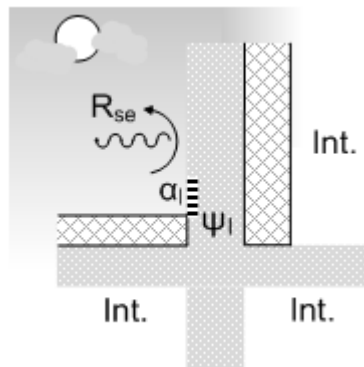


Figure 54 : Pont thermique de liaison en angle rentrant

Les facteurs de transmission solaire sont calculés de manière identique à ceux d'un pont thermique au droit d'une surface plane (équation (54)). L'orientation et l'inclinaison du pont thermique sont ceux de la paroi opaque verticale sur laquelle est concentrée la déperdition (voir figure ci-dessus).

6.4 Parois et ponts thermiques enterrés

Les apports solaires par les parties d'enveloppe enterrées, au travers du sol, peuvent être pris en compte au travers du facteur de transmission solaire d'un pont thermique équivalent.

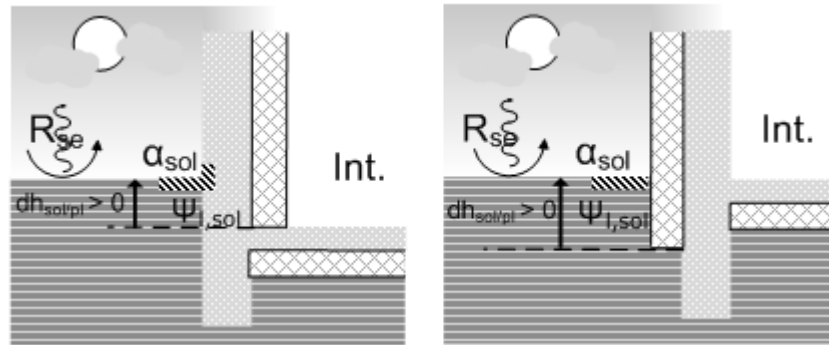


Figure 55 : Paroi et pont thermique enterrés : prise en compte des apports solaires

On pourra négliger les apports solaires par le sol si la distance entre le plan extérieur du sol et la limite basse de l'isolant de la paroi verticale $dh_{sol/pl}$ est négative (niveau du sol extérieur inférieur à celui de l'isolant).

Les formules à employer sont les suivantes :

$$\begin{aligned} S_{f-C,l} &= a_{sol} \cdot \psi_{l,sol-C} \cdot R_{se-C} \\ S_{f-E,l} &= a_{sol} \cdot \psi_{l,sol-E} \cdot R_{se-E} \end{aligned} \quad (57)$$

Où :

- a_{sol} est le coefficient d'absorption solaire du sol, pouvant être déterminé par défaut selon le **Tableau 28** ;
- $\psi_{l,sol-C}$ et $\psi_{l,sol-E}$ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) sont les coefficients de transmission thermique linéique de la fraction de paroi ou du pont thermique enterrés en prenant en compte l'épaisseur de sol, pour les conditions C et E. $\psi_{l,sol-C}$ est déterminé selon les règles Th-U. $\psi_{l,sol-E}$ peut être calculé à partir de $\psi_{l,sol-C}$ via l'équation (55).

ANNEXE : PRISE EN COMPTE DE LA PARTIE OUVERTE DE LA BAIE

La présente annexe ne s'applique pas si la méthode de destination réalise elle-même un calcul de la surface d'ouverture effective (en prenant en compte les éléments fixes) par rapport à la surface totale de la baie. Les facteurs de transmission « *ouv* » sont employés sans la présente correction pour la prise en compte de la partie ouverte de la baie.

Cette distinction n'est possible de manière simplifiée que lorsque l'ouverture se traduit par une partie de la baie fermée non-affectée et une partie de la baie totalement ouverte, identifiable à un trou. Il s'agit par exemple des fenêtres coulissantes, ou à double battants avec un battant fermée et l'autre complètement ouvert. Parmi les cas exclus, on peut citer les fenêtres oscillantes ou à simple battant.

Dans le cas d'une baie coulissante partiellement ouverte, on ne prend pas en compte l'effet du coulissant sur les propriétés de la partie fermée.

Lorsqu'elle est abaissée, la protection mobile est supposée recouvrir simultanément la partie fixe et la partie ouverte.

La méthode ne s'applique qu'en conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E).

On introduit les grandeurs suivantes :

- A_b la surface totale des parois remplissant la baie (paroi transparente, cadre et éléments opaques) ;
- A_{ouv_max} la surface maximale d'ouverture (tous éléments compris) des parois remplissant la baie ;
- Les facteurs de transmission lumineuse de la partie fixe de la baie, notée avec un indice « *_pfixe* ». Ces facteurs sont déterminés par application de la méthode.

Paroi ouverte sans protection rapportée en place

Une ouverture laisse passer l'intégralité du rayonnement incident de manière directe :

$$\begin{bmatrix} S_{ouv1}^E \\ S_{ouv2}^E \\ S_{ouv3}^E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (58)$$

On intègre au résultat la partie fixe de la paroi et en ramenant à la surface totale en tableau de la baie :

$$\begin{bmatrix} S_{wouv1}^E \\ S_{wouv2}^E \\ S_{wouv3}^E \end{bmatrix} = \frac{A_{ouv_max}}{A_b} \times \begin{bmatrix} S_{ouv1}^E \\ S_{ouv2}^E \\ S_{ouv3}^E \end{bmatrix} + \left(1 - \frac{A_{ouv_max}}{A_b}\right) \times \begin{bmatrix} S_{w_pfixe1}^E \\ S_{w_pfixe2}^E \\ S_{w_pfixe3}^E \end{bmatrix} \quad (59)$$

Où S_{w_pfixe1} , S_{w_pfixe2} et S_{w_pfixe3} sont issus de l'application du contexte normatif à la partie fixe de la paroi vitrée (voir le chapitre 4.1).

Enfin, on prend en compte les coefficients de correction pour l'intégration à l'ouvrage :

$$\begin{bmatrix} S_{bouv1}^E \\ S_{bouv2}^E \\ S_{bouv3}^E \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,E} \cdot F_{bati_dir}^{fs,E} + (1 - R_{dir}^{fs,E}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{wouv1}^E \\ S_{wouv2}^E \\ S_{wouv3}^E \end{bmatrix} \quad (60)$$

Où :

- $F_{bati_dir}^{fs,E}$ et $F_{bati_dif}^{fs}$, coefficients de prise en compte de l'intégration à l'ouvrage, sont calculés selon la procédure décrite au chapitre 4.3.2.2.
- $R_{dir}^{fs,E}$ est la part annuelle de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global de la baie, déterminé à partir du **Tableau 16** (chapitre 4.3.2.1).

Paroi ouverte avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées en place

Pour la partie ouverture de la baie, les facteurs de transmission solaire sont ceux de la protection rapportée seule. S_{ouvs1} , S_{ouvs2} et S_{ouvs3} doivent donc être déterminés selon la norme NF EN 13363-2, en considérant la protection seule.

Note : dans cette norme, S_{ouvs1} est noté τ_e , S_{ouvs2} est la somme des facteurs g_c et g_{th} et S_{ouvs3} est noté g_v .

On intègre au résultat la partie fixe de la paroi et on ramène à la surface totale en tableau de la baie :

$$\begin{bmatrix} S_{wouvs1}^E \\ S_{wouvs2}^E \\ S_{wouvs3}^E \end{bmatrix} = \frac{A_{ouv_max}}{A_b} \times \begin{bmatrix} S_{ouvs1}^E \\ S_{ouvs2}^E \\ S_{ouvs3}^E \end{bmatrix} + \left(1 - \frac{A_{ouv_max}}{A_b} \right) \times \begin{bmatrix} S_{ws_pfixe1}^E \\ S_{ws_pfixe2}^E \\ S_{ws_pfixe3}^E \end{bmatrix} \quad (61)$$

Où S_{ws_pfixe1} , S_{ws_pfixe2} et S_{ws_pfixe3} sont issus de l'application du contexte normatif à la partie fixe de la paroi vitrée (voir le chapitre 0).

Enfin, on prend en compte les coefficients de correction pour l'intégration à l'ouvrage :

$$\begin{bmatrix} S_{bouv1}^E \\ S_{bouv2}^E \\ S_{bouv3}^E \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,E} \cdot F_{bati_dir}^{fs,E} + (1 - R_{dir}^{fs,E}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{wouv1}^E \\ S_{wouv2}^E \\ S_{wouv3}^E \end{bmatrix} \quad (62)$$

Où :

- $F_{bati_dir}^{fs,E}$ et $F_{bati_dif}^{fs}$, coefficients de prise en compte de l'intégration à l'ouvrage, sont calculés selon la procédure décrite au chapitre 4.3.2.2.
- $R_{dir}^{fs,E}$ 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 16** (chapitre 4.3.2.1).

En l'absence de vitrage, le correctif d'incidence variable n'intervient pas.

Paroi ouverte avec protection rapportée à lames inclinées en place

Les facteurs de transmission solaire sont ceux de la protection rapportée en place seule.

Les valeurs de $S_{ouvs_dir}^E(\eta, \alpha)$, $S_{ouvs_dif}^E(\alpha)$ et $S_{ouvs_ref}^E(\alpha)$, pour les trois composantes de transmission, sont déterminées selon la norme XP P50-777 Annexe A, en considérant le cas particulier d'une protection seule sans vitrage.

$$\begin{bmatrix} S_{wouvs1_dir}^E(\eta, \alpha) \\ S_{wouvs2_dir}^E(\eta, \alpha) \\ S_{wouvs3_dir}^E(\eta, \alpha) \end{bmatrix} = \frac{A_{ouv_max}}{A_b} \times \begin{bmatrix} S_{ouvs1_dir}^E(\eta, \alpha) \\ S_{ouvs2_dir}^E(\eta, \alpha) \\ S_{ouvs3_dir}^E(\eta, \alpha) \end{bmatrix} + \left(1 - \frac{A_{ouv_max}}{A_b}\right) \times \begin{bmatrix} S_{ws1_dir_pfxe}^E(\eta, \alpha) \\ S_{ws2_dir_pfxe}^E(\eta, \alpha) \\ S_{ws3_dir_pfxe}^E(\eta, \alpha) \end{bmatrix} \quad (63)$$

$$\begin{bmatrix} S_{wouvs1_dif}^E(\alpha) \\ S_{wouvs2_dif}^E(\alpha) \\ S_{wouvs3_dif}^E(\alpha) \end{bmatrix} = \frac{A_{ouv_max}}{A_b} \times \begin{bmatrix} S_{ouvs1_dif}^E(\alpha) \\ S_{ouvs2_dif}^E(\alpha) \\ S_{ouvs3_dif}^E(\alpha) \end{bmatrix} + \left(1 - \frac{A_{ouv_max}}{A_b}\right) \times \begin{bmatrix} S_{ws1_dif_pfxe}^E(\alpha) \\ S_{ws2_dif_pfxe}^E(\alpha) \\ S_{ws3_dif_pfxe}^E(\alpha) \end{bmatrix} \quad (64)$$

$$\begin{bmatrix} S_{wouvs1_ref}^E(\alpha) \\ S_{wouvs2_ref}^E(\alpha) \\ S_{wouvs3_ref}^E(\alpha) \end{bmatrix} = \frac{A_{ouv_max}}{A_b} \times \begin{bmatrix} S_{ouvs1_ref}^E(\alpha) \\ S_{ouvs2_ref}^E(\alpha) \\ S_{ouvs3_ref}^E(\alpha) \end{bmatrix} + \left(1 - \frac{A_{ouv_max}}{A_b}\right) \times \begin{bmatrix} S_{ws1_ref_pfxe}^E(\alpha) \\ S_{ws2_ref_pfxe}^E(\alpha) \\ S_{ws3_ref_pfxe}^E(\alpha) \end{bmatrix} \quad (65)$$

On prend en compte les coefficients de correction pour l'intégration à l'ouvrage :

$$\begin{bmatrix} S_{bouvs1_dir}^E(\eta, \alpha) \\ S_{bouvs2_dir}^E(\eta, \alpha) \\ S_{bouvs3_dir}^E(\eta, \alpha) \end{bmatrix} = F_{bati_dir}^{fs,E} \times \begin{bmatrix} S_{wouvs1_dir}^E(\eta, \alpha) \\ S_{wouvs2_dir}^E(\eta, \alpha) \\ S_{wouvs3_dir}^E(\eta, \alpha) \end{bmatrix} \quad (66)$$

$$\begin{bmatrix} S_{bouvs1_dif}^E(\alpha) \\ S_{bouvs2_dif}^E(\alpha) \\ S_{bouvs3_dif}^E(\alpha) \end{bmatrix} = F_{bati_dif}^{fs} \times \begin{bmatrix} S_{wouvs1_dif}^E(\alpha) \\ S_{wouvs2_dif}^E(\alpha) \\ S_{wouvs3_dif}^E(\alpha) \end{bmatrix} \quad (67)$$

$$\begin{bmatrix} S_{bouvs1_ref}^E(\alpha) \\ S_{bouvs2_ref}^E(\alpha) \\ S_{bouvs3_ref}^E(\alpha) \end{bmatrix} = F_{bati_ref}^{fs} \times \begin{bmatrix} S_{wouvs1_ref}^E(\alpha) \\ S_{wouvs2_ref}^E(\alpha) \\ S_{wouvs3_ref}^E(\alpha) \end{bmatrix} \quad (68)$$

Où $F_{bati_dir}^{fs,E}$ et $F_{bati_dif}^{fs}$, coefficients de prise en compte de l'intégration à l'ouvrage, sont calculés selon la procédure décrite au chapitre 4.3.2.2.

En l'absence de vitrage, le correctif d'incidence variable n'intervient pas.

C Règles ThL

Caractérisation du facteur de transmission lumineuse des parois du bâtiment

1. Préambule et contexte

L'objectif général des règles Th-L est de mettre à disposition des méthodes de calcul de consommation d'énergie, de dimensionnement et d'appréciation du confort thermique les paramètres nécessaires pour calculer la contribution à l'éclairement naturel intérieur des composants de bâtiment intégrés dans l'ouvrage qui permettent l'éclairement naturel intérieur.

Il existe un lien étroit entre confort thermique et visuel et en conséquence entre consommation énergétique et recours à l'éclairage artificiel. L'accès à l'éclairement naturel implique un transfert de chaleur par rayonnement solaire, qui peut contribuer à limiter les apports d'énergie pour le chauffage et à augmenter les charges en climatisation. En revanche, il va potentiellement diminuer le recours à l'éclairage artificiel. Il va donc réduire, d'une part, la consommation d'énergie directe pour assurer le confort visuel, d'autre part, la dissipation de la chaleur due au fonctionnement de l'éclairage artificiel. En conséquence, la variation de l'accès à l'éclairement naturel d'un local génère des effets antagonistes sur ses consommations énergétiques. Afin d'évaluer de façon cohérente les conséquences d'un composant transparent ou translucide sur les consommations énergétiques du bâtiment, il est nécessaire de déterminer son impact sur la durée et la période d'utilisation de l'éclairage artificiel. Dès lors, les facteurs de transmission lumineuse déterminés dans ces règles n'ont pas vocation à qualifier le confort visuel d'une ambiance, mais visent à déterminer l'autonomie d'un local vis-à-vis de l'éclairement artificiel.

On appelle facteur de transmission lumineuse le rapport entre le rayonnement transmis par la paroi transparente ou translucide et le rayonnement incident dans la gamme de longueur d'onde du visible. Il existe différentes expressions du facteur de transmission lumineuse en fonction de la nature du rayonnement incident et du rayonnement transmis.

Ils sont calculés à partir des caractéristiques physiques des matériaux déterminées à partir des normes produits, de calcul et d'essai.

Les règles présentent les phénomènes physiques mis en jeu et les simplifications adoptées pour déterminer les caractéristiques lumineuses des parois. Au cours de la rédaction, les termes qui peuvent être rencontrés dans d'autres documents comme les normes ou méthodes de calcul sont explicités afin de faciliter l'articulation entre les différents textes et méthodes.

La nomenclature met à disposition du lecteur la liste des variables utilisées et leur position dans le texte. Il pourra s'y référer, à l'instar d'un sommaire, pour naviguer plus rapidement dans le texte. Ce dernier comprend un panorama des normes en lien avec le sujet et leur articulation avec les présentes règles.

Cette coordination apporte des éléments sur ce qui est nécessaire pour utiliser ces règles et l'utilité des grandeurs auxquelles elles donnent accès. La méthode générale de calcul est présentée de manière en partant du cas le plus courant vers les cas particuliers.

Ainsi, la formule globale est-elle introduite avant les méthodes et tableaux nécessaires à la détermination des différents coefficients mis en jeu. Un chapitre complémentaire sur les cas particuliers vient finir le document.

2. Définitions et phénomènes mis en jeu

Cette partie informative fait un rappel succinct des différents types d'éclairements qui atteignent et traversent une paroi dans la gamme de longueur d'onde du visible entre $0,38 \mu\text{m}$ à $0,78 \mu\text{m}$. Elle a pour vocation, d'une part, d'expliquer pourquoi les rayonnements sont distingués selon leur nature diffuse ou directe, d'autre part, d'introduire la définition des principaux termes utilisés.

2.1 Généralités

Ces règles ne concernent que la part visible du rayonnement solaire dans la gamme de longueur d'onde qui va de $0,38 \mu\text{m}$ à $0,78 \mu\text{m}$. La détermination de l'éclairement naturel intérieur se fait à partir du rayonnement atteignant la façade, des caractéristiques de la paroi et de la répartition de la lumière à l'intérieur du local.

Le rayonnement atteignant la façade est déterminé à partir des données météorologiques. Il reprend les paramètres jugés nécessaires dans la norme NF EN ISO 15927⁸, à savoir :

- L'éclairement énergétique solaire direct normal au rayon du soleil
- L'éclairement énergétique solaire diffus sur une surface horizontale.

A partir de ces deux grandeurs, et des caractéristiques de l'environnement proche, l'éclairement atteignant la paroi est distingué selon qu'il provient :

- du soleil ;
- du ciel ;
- du sol (réfléchi).

Au contact de la paroi, quelle que soit la source lumineuse, la transmission comporte toujours :

- une composante transmise dans l'axe de la source. Cette composante est qualifiée de directe. On parle également d'une transmission spéculaire ;
- une composante constituée des transmissions dans les autres directions. L'ensemble de ces transmissions correspondent à la composante diffuse.

Le cumul de ces composantes constitue la transmission globale, également qualifiée de hémisphérique. Selon la nature du matériau, la proportion de ces deux composantes est différente. Pour certains matériaux, il est possible de négliger l'une ou l'autre de ces composantes. La **Figure 1** illustre cette segmentation de la lumière transmise.

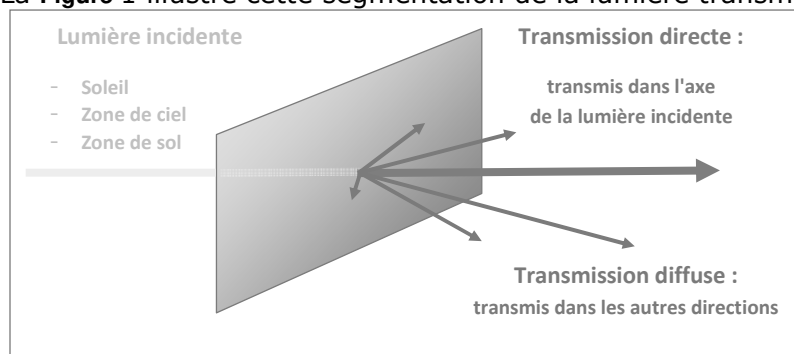


Figure 56 : Transmission directe et diffuse à travers une paroi transparente ou translucide

Ainsi les termes direct et diffus prennent les significations suivantes, selon qu'ils qualifient un rayonnement ou une transmission.

	Direct(e)	Diffus(e)
Eclairement ou rayonnement	Ce qui provient directement du soleil	Ce qui provient du ciel et/ou du sol
Transmission lumineuse ou énergétique	Ce qui est transmis dans la direction de la source	Ce qui est transmis dans les directions autres que celle de la source

Tableau 38 : Signification des termes direct et diffus

La mesure de la transmission lumineuse s'effectue selon la méthode décrite dans la norme NF EN 410. Deux cas de figure sont prévus. La transmission lumineuse pour une source "ponctuelle", et celle pour une source étendue.

- **Source ponctuelle** : le matériau est éclairé perpendiculairement par une source "ponctuelle" à rayons parallèles. Pour déterminer la quantité de lumière transmise, une sphère d'intégration est placée directement derrière le matériau à caractériser. Le capteur à l'intérieur de la sphère est protégé de la vue directe de l'échantillon. La transmission lumineuse est obtenue par comparaison entre une mesure avec l'échantillon et une mesure sans l'échantillon. Pour obtenir la variation de la transmission lumineuse en fonction de l'angle d'incidence, on procède de la même façon en faisant varier l'angle de la lumière incidente par rapport à l'échantillon. Les mesures à incidence non normale ne sont pas évoquées dans la norme.

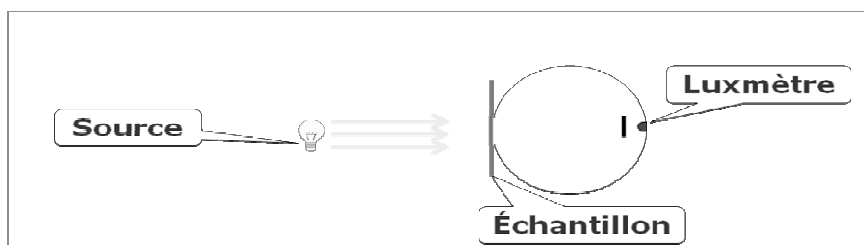


Figure 57 : Mesure avec source ponctuelle

- **Source étendue** : le matériau est éclairé par une source étendue obtenue avec une sphère d'intégration. Avec un tel dispositif on considère que quelle que soit la direction d'incidence de la lumière elle a la même luminance. Le fait de ne pas voir directement la source (qui contrairement à la méthode avec source ponctuelle émet de la lumière dans toutes les directions) et les réflexions multiples dans la sphère conduisent à une répartition uniforme de la luminance (moins de 1/1000 d'écart en général). C'est la définition d'une source hémisphérique.

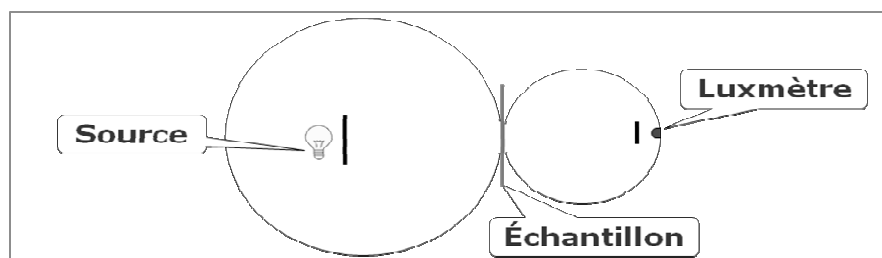


Figure 58 : Mesure avec source étendue (hémisphérique)

Selon la nature du rayonnement transmis sa contribution à l'éclairement naturel intérieur n'est pas la même. Ainsi le rayonnement diffus est-il considéré directement efficace pour éclairer alors qu'un rayonnement direct selon son intensité devra-t-il être transformé en diffus par réflexions pour ne pas éblouir l'occupant.

Dès lors, du fait de la distinction de la nature de l'éclairement incident dans les données météorologiques et de l'efficacité de l'éclairement selon sa nature, il convient de distinguer la part directe de la part diffuse. En conséquence, les facteurs de transmission lumineuse déterminés dans les présentes règles dépendent de l'origine du rayonnement et de la nature de sa transmission.

L'éclairement qui provient du soleil est transmis à travers une paroi en fonction du coefficient :

- **TLi** : facteur de transmission de l'éclairement du soleil, donc d'un rayon direct, transmis globalement par une paroi. Ce facteur de transmission lumineuse est également appelée facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement incident direct. Lorsque l'incidence est normale, ce facteur de transmission dans le domaine du visible prend la notation τ_v^{n-h} , le facteur de transmission normal hémisphérique.

On peut distinguer la partie transmise dans l'axe de la partie transmise dans les autres directions à partir des coefficients :

- **TLii** : facteur de transmission de l'éclairement du soleil, donc d'un rayon direct, transmis dans l'axe. Ce facteur de transmission lumineuse est également appelé facteur de transmission d'un rayonnement incident direct transmis sous forme directe. Lorsque l'incidence est normale, ce facteur de transmission dans le domaine du visible prend la notation τ_v^{n-n} , qui s'écrit également C_0 dans les caractérisations des toiles.
- **TLid** : facteur de transmission de l'éclairement du soleil, donc d'un rayon direct, transmis dans toutes les directions, donc diffus. Ce facteur de transmission est également appelé facteur de transmission d'un rayonnement incident direct transmis sous forme diffuse. Lorsque l'incidence est normale ce facteur de transmission se déduit des deux premiers : $\tau_v^{n-h} - \tau_v^{n-n}$

Il est à noter que pour une paroi transparente ou translucide, ces facteurs de transmission dépendent de l'angle d'incidence. Pour un angle d'incidence donné, on obtient une valeur de TLi, TLii et de TLid. La **Figure 59** illustre la variation de la transmission lumineuse directe en fonction de l'angle d'incidence pour un double vitrage clair :

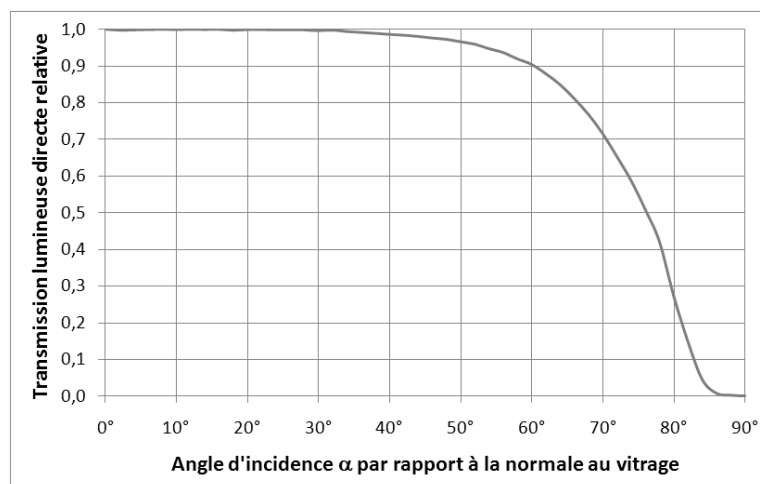


Figure 59 : Exemple d'évolution du facteur de transmission lumineuse direct en fonction de l'angle d'incidence α pour un verre clair

L'éclairement qui provient du ciel ou du sol est le cumul d'une multitude de sources réparties de façon équitable dans les demi-sphères respectivement supérieure ou inférieure. L'absence d'une direction privilégiée fait que cet éclairement est qualifié de diffus. Au contact d'une paroi, la proportion transmise est calculée à partir du coefficient :

- **TLd** : facteur de transmission global de l'éclairement diffus. Ce facteur de transmission lumineuse s'exprime également TL ou τ_v^{h-h} .

De chaque source est issu un rayon qui au contact de la paroi est en partie transmis dans l'axe et en partie dans les autres directions. Pour déterminer la contribution de chaque composante on utilise les coefficients :

- **TLdi** : facteur de transmission de l'éclairement provenant du ciel sans soleil, donc d'une source sans direction privilégiée, dans l'axe de ces différentes sources. Il s'agit du facteur de transmission de l'éclairement diffus transmis sous forme directe. Il s'agit de l'intégrale de la valeur de TLii sur tous les angles de 0 à 90°⁹ ;
- **TLdd** : facteur de transmission de l'éclairement provenant du ciel sans soleil ou du sol, donc d'une source sans direction privilégiée, dans une autre direction que l'axe des différentes sources. Il se détermine par soustraction des deux précédents termes.

Le rayonnement en provenance du ciel est considéré comme diffus à l'intérieur du local. Ainsi, il est convenu dans les présentes règles de ne pas distinguer les grandeurs TLdi et TLdd par mesure de simplification.

Il est à noter que pour les parois transparentes ou translucides homogènes, sans store à lames par exemple ce qui exclu également les polycarbonates clairs, les valeurs des facteurs de transmission lumineuse sont identiques pour la lumière du ciel ou du sol. En effet, les facteurs de transmission sont pour un éclairement diffus indépendant de l'angle d'incidence.

2.1 Définition des termes associés aux composants et à l'ouvrage

Baie¹⁰ : ouverture ménagée dans une paroi extérieure servant à l'éclairage, le passage ou l'aération. Dans le cadre des Th-L, la baie est l'ouverture accueillant la paroi vitrée. Les facteurs de transmission lumineuse obtenus par application des règles Th-L 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.

Cadre¹¹ : élément structurel opaque de l'ensemble menuisé.

⁹ Pour une paroi verticale avec des stores vénitiens, il convient de distinguer ce qui vient de la demi-sphère supérieure de ce qui vient de la demi-sphère inférieure respectivement intégration de 0 à 90 et de 90 à 180.

¹⁰ 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.

¹¹ Selon la norme XP P50-777.

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 lanternes).

Composant d'enveloppe : un composant d'enveloppe est soit une paroi opaque, soit un pont thermique, soit une baie.

Élément opaque (de paroi vitrée)¹² : remplissage opaque constitutif de l'ensemble menuisé.

Inclinaison de la baie : l'inclinaison est celle de la paroi vitrée associée à la baie. Elle 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 orientée vers le sol. En pratique on se limite dans le cadre des présentes règles à l'intervalle $[0^\circ; 90^\circ[$.

Masque proche¹³ (équivalent à brise-soleil fixe)¹⁴ : obstacle architectural au rayonnement solaire, lié au bâtiment étudié, tel que les tableaux des baies, les surplombs ou les débords latéraux.

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 de la baie : il s'agit de l'orientation vers laquelle s'oriente la face extérieure de la paroi vitrée associée à la baie. Elle est notée θ et 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° .

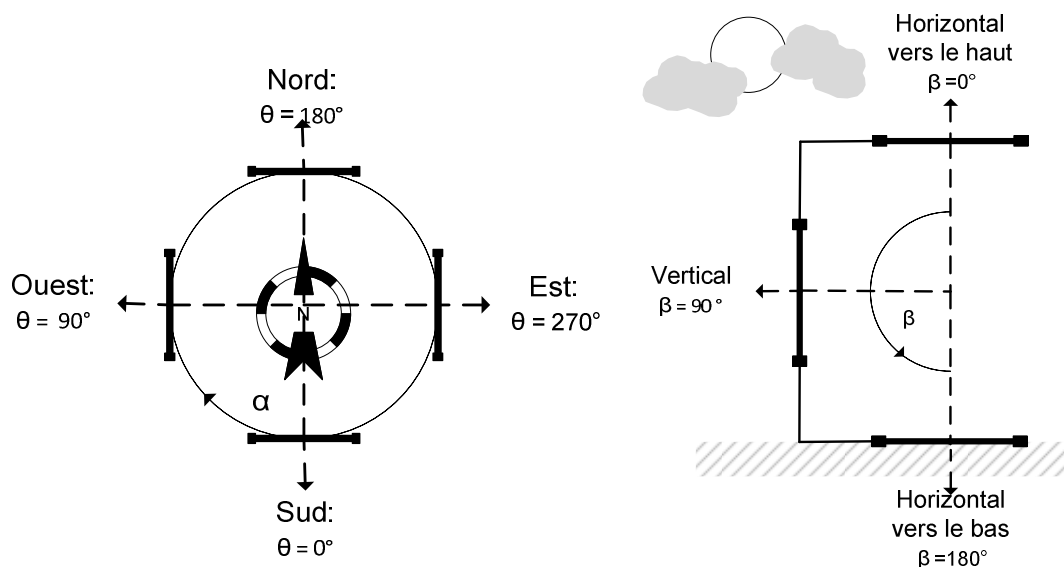


Figure 60 : Conventions d'orientation et d'inclinaison des parois vitrées

Paroi transparente ou translucide¹⁵ (équivalent à vitrage¹⁶) : une paroi est dite transparente ou translucide si son facteur de transmission lumineuse (hors protection

¹² Selon la norme XP P50-777.

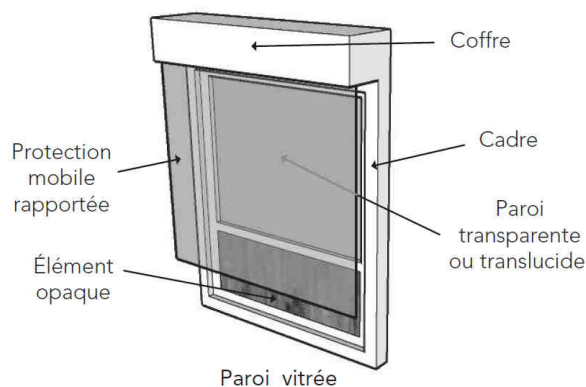
¹³ 13 Selon Arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

¹⁴ Selon la norme XP P50-777.

¹⁵ 15 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.

mobile éventuelle) est égal ou supérieur à 0,05. Dans le cas contraire, elle est dite opaque.

Paroi vitrée¹⁷ : 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 6

Figure 61). Une paroi vitrée peut être associée ou non à une protection mobile.

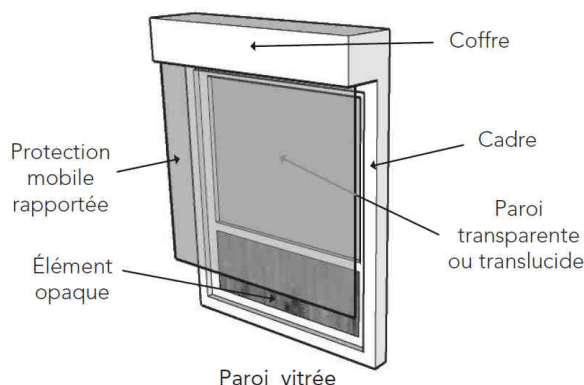


Figure 61 : Éléments constitutifs de la paroi vitrée

Protection mobile rapportée¹⁸ : ensemble constitué d'un tablier et d'un système de manœuvre se déployant et se repliant complètement parallèlement au plan d'une paroi vitrée dans le but d'en faire varier les propriétés énergétiques et lumineuses. 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 ou à l'extérieur d'un local 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 règles Th-L.

16 Selon la norme XP P50-777.

17 Selon la norme XP P50-777.

18 Selon la norme XP P50-777.

Protection mobile rapportée à lames inclinées¹⁹ (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.

¹⁹

Selon la norme XP P50-777.

3. Nomenclature

Nom	Unité	§	Description
TLi	/	2	Facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement incident direct
TLii	/	2	Facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement incident direct transmis sous forme directe
TLid	/	2	Facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement incident direct transmis sous forme diffuse
TLd	/	2	Facteur de transmission lumineuse global de l'éclairement diffus
TLdi	/	2	Facteur de transmission lumineuse de l'éclairement diffus transmis sous forme directe
TLdd	/	2	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}	/	2	Facteur de transmission lumineuse normal-normal
τ_v^{n-h}	/	2	Facteur de transmission lumineuse normal-hémisphérique
τ_v^{h-h}	/	2	Facteur de transmission lumineuse hémisphérique-hémisphérique
θ	°	2	Orientation de la baie
β	°	2	Inclinaison de la baie
β_{pp}	°	2	Angle d'inclinaison des protections fixes à projection par rapport à la verticale
τ_v	/	4.1	Facteur de transmission lumineuse d'un matériau ou un vitrage (normes EN 410 et EN 14500)
ρ_v	/	4.1	Facteur de réflexion lumineuse d'un matériau ou vitrage (norme EN 410)
TL_w	/	4.3	Facteur de transmission lumineuse de la paroi vitrée sans protection mobile (norme XP P50-777)
TL_{ws}	/	4.3	Facteur de transmission lumineuse de la paroi vitrée avec protection mobile en place (norme XP P50-777)
TL_{w_n,dif}	/	4.3	Facteur de transmission lumineuse du rayonnement incident direct, transmis sous forme diffuse (norme XP P50-777)
TL_{ws_n,dif}	/	4.3	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)	/	4.3, 5.13	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)	//	4.3, 5.1.3	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)

$TL_{ws_dif(\alpha)}$	/	4.3, 5.1.3	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)
$TL_{ws_ref(\alpha)}$	/	4.3, 5.1.3	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)
$TL_{ws_ref,dif(\alpha)}$	/	4.3, 5.1.3	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'	°	4.3	Angle de profil (norme XP P50-777), aussi qualifié de hauteur de soleil corrigée
α	°	4.3	Angle d'inclinaison des lames de la protection mobile à lames inclinées
$Tli_{ap_dir,b}$	/	5.1.2	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident direct pour la partie de la baie vitrée b
$Tld_{ap_dif,b}$	/	5.1.2	flux incident diffus de la partie avec protection mobile de la baie vitrée b
$Tld_{ap_ref,b}$	/	5.1.2	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident réfléchi de la partie avec protection mobile de la baie vitrée b
$Tlid_{ap_dir,b}$	/	5.1.2	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct sous forme diffuse de la baie vitrée b avec protection mobile en place
$Tlid_{ap_ref,b}$	/	5.1.2	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
$Tli_{ap_dir,b(\eta,\alpha)}$	/	5.1.3	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).
$Tlid_{ap_dir,b(\eta,\alpha)}$	/	5.1.3	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.
$Tld_{ap_dir,b(\alpha)}$	/	5.1.3	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
$Tld_{ap_ref,b(\alpha)}$	/	5.1.3	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.
$Tlid_{ap_ref,b(\alpha)}$	/	5.1.3	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}	/	5.1.2	Pourcentage d'éclairement direct du soleil par rapport à l'éclairement global atteignant la baie.
K	/	5.2.2	Coefficient de forme caractérisant la baie

L	m	5.2.2	Largeur de la baie
H	m	5.2.2	Hauteur de la baie
e	m	5.2.2	Epaisseur de la paroi opaque sur laquelle est située la baie
F^{fl}_{bati_dir}	/	5.2.2	Coefficient de correction pour l'éclairement direct du soleil
F^{fl}_{bati_dif}	/	5.2.2	Coefficient de correction pour l'éclairement diffus du ciel et du sol
F^{fl}_{riv_dir}	/	5.2.2	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^{fl}_{riv_dif}	/	5.2.2	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	5.2.2	Longueur du masque à projection
β_{pp}	°	5.2.2	Angle entre la paroi verticale et le plan du masque à projection
τ_{pp}	/	5.2.2	Facteur de transmission lumineuse et facteur de transmission du matériau du masque à projection (annexe A2 EN13363-2)
r_{pp}	/	5.2.2	Coefficient caractéristique des dimensions du masque à projection

Tableau 39 : nomenclature des règles Th-L

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

- o **w** : paroi transparente ou translucide associée à ses éléments opaques sans protection rapportée en place ;
- o **ws** : paroi transparente ou translucide associée à ses éléments opaques avec protection rapportée en place.

Dans le cadre des règles Th-L, 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

4. Données d'entrée des règles Th-L

Pour les parois vitrées dites courantes, la définition des facteurs de transmission lumineuse des baies passe par un processus normatif, depuis la caractérisation des matériaux jusqu'à la prise en compte des composants dans les modèles de comportement du bâtiment ou de parties de bâtiment.

Les règles Th-L s'inscrivent comme une étape supplémentaire dans ce processus :

- en réalisant le lien entre la caractérisation du facteur de transmission lumineuse d'une paroi vitrée et le comportement de cette dernière une fois mise en place sur l'ouvrage ;
- en proposant des prises en compte de certains cas particuliers fréquemment rencontrés, mais ne disposant pas de contexte normatif complet.

Le présent chapitre rappelle l'agencement des normes entre elles dans les cas courants et détaille le rôle et la position des Th-L dans le contexte normatif.

4.1 PANORAMA NORMATIF

Les normes intervenant dans la caractérisation de la paroi vitrée sont les suivantes :

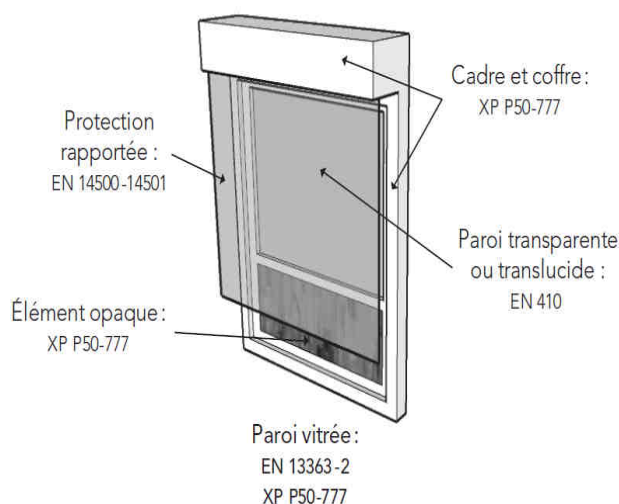


Figure 62 : Caractérisation de l'assemblage de composants de la baie

EN 410 : « Verre dans la construction : détermination des caractéristiques lumineuses et solaires des vitrages »

EN 13363-2 : « Dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages : calcul du facteur de transmission solaire et lumineuse - Partie 2 : méthode de calcul détaillé »

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

EN 14501 : « Fermetures et stores : confort thermique et lumineux, caractérisation des performances et classification »

XP P50-777: « Détermination du facteur de transmission solaire et lumineuse »

Les normes listées précédemment s'articulent de la manière suivante :

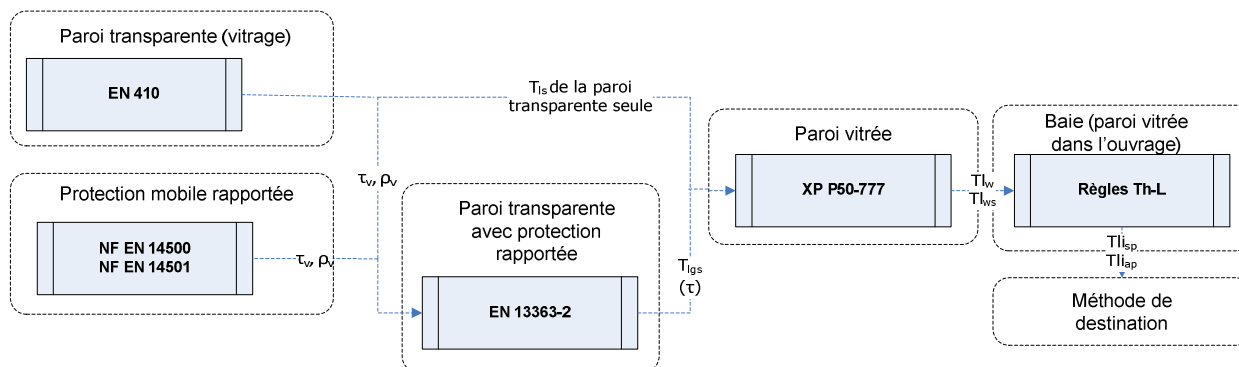


Figure 63 : Communications entre les textes normatifs dans le cadre des propriétés lumineuses

4.2 L'apport des règles Th-L

Le processus normatif évoqué ci-dessous n'est applicable dans son intégralité que pour des parois vitrées munies de parois transparentes uniquement (sans caractère diffusant), 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 lumineuse à incidence directe normale, à l'exception des parois à protections à lames inclinées²⁰.

Les présentes règles Th-L 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 proche à projection ou d'un brise-soleil à lames fixes inclinées ;
- l'impact du contour de la baie (liée 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 Th-L.

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

²⁰ Pour les parois à protections à lames inclinées, les incidences directes quelconques dans le plan perpendiculaire à la paroi, diffuse et réfléchie font également l'objet d'une caractérisation.

	Echelle	Facteur de transmission lumineuse
Composants	Paroi transparente ou translucide	EN 410
	Protection mobile	EN 14500 et 14501
	Cadre et coffre	XP P50-777
	Paroi opaque	XP P50-777
Assemblage de composants	Paroi transparente et protection rapportée	EN 13363
	Paroi vitrée	XP P50-777
Intégration dans l'ouvrage	Paroi vitrée dans l'ouvrage	<u>Règles Th-L</u>
Impact sur l'ambiance intérieure et les besoins en énergie	Bâtiment ou partie de bâtiment	Méthode de calcul de destination

Tableau 40 : Cohérence des textes normatifs et des règles Th-L

4.3 Données d'entrée et de sortie des règles Th-L

Dans les limites du domaine d'application évoquées au 4.2, les résultats de l'application des normes sont les suivants :

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
<i>Directe normale</i>	Global	TL_w	TL_{ws}	$TL_{ws_dir}(\eta=0, \alpha)$
	Diffusé	$TL_{w_n,dif}$	$TL_{ws_n,dif}$	$TL_{ws_dir,dif}(\eta=0, \alpha)$
<i>Directe quelconque dans le plan vertical perpendiculaire à la paroi</i>	Global			$TL_{ws_dir}(\eta, \alpha)$
	Diffusé			$TL_{ws_dir,dif}(\eta, \alpha)$
<i>Diffuse</i>	Global			$TL_{ws_dir}(\alpha)$
<i>Réfléchie</i>	Global			$TL_{ws_ref}(\alpha)$
	Diffusé			$TL_{ws_ref,dif}(\alpha)$

Tableau 41 : Résultats d'application des normes pour les parois vitrées

A partir de ces données d'entrée, les présentes règles Th-L aboutissent aux données de sortie suivantes :

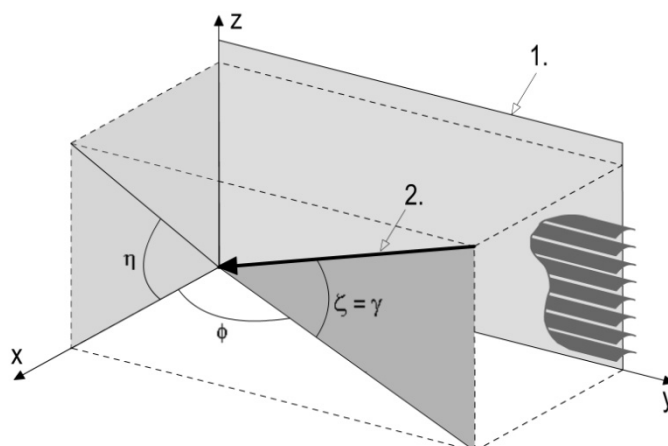
Sortie suivantes :

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 d'incidence quelconque	Global	$Tli_{sp,b}$	$Tli_{ap,b}$	$Tli_{ap_dir,b}(\gamma',\alpha)$
	Diffusé	$Tlid_{sp,b}$	$Tlid_{ap,b}$	$Tlid_{ap_dir,b}(\gamma',\alpha)$
Diffuse	Global	Même facteurs qu'en incidence directe		$Tld_{ap_dif,b}(\alpha)$
Réfléchie	Global			$Tld_{ap_ref,b}(\alpha)$
	Diffusé			$Tlid_{ap_ref,b}(\alpha)$

Tableau 42 : Résultats d'application des Th-L pour les parois vitrées

Note : dans les Tableau 41 et Tableau 125, les résultats avec protection rapportée à lames inclinées sont exprimés pour des angles de profil noté η ou γ' variant de 0° à 75° par pas de 15° (6 valeurs), et une inclinaison des lames α variant entre 0° et 90° par pas de 15° (7 valeurs).

L'angle de profil correspond à l'angle d'incidence par rapport à la normale au plan de la paroi vitrée, mesuré dans le plan vertical (voir ci-dessous) :



Légende

- 1 Plan de la protection mobile
- 2 Rayonnement incident
- η Angle de profil
- Φ Angle d'azimut
- ξ Angle d'altitude
- γ Hauteur du soleil

Figure64 : Illustration de l'angle de profil η pour une protection mobile verticale à lames horizontales

L'angle de profil η est également désignée par le terme hauteur de soleil corrigée γ' .

5. Détermination du facteur de transmission lumineuse pour les cas courants

La présente méthode s'applique aux cas courants, c'est-à-dire les parois vitrées munies de parois transparentes uniquement (sans caractère diffusant), associées ou non à des protections rapportées, telles qu'appartenant au domaine d'application de la norme XP P50-777.

La méthode utilise une approche simplifiée, adaptée pour des méthodes de calcul où les facteurs de transmission lumineuse sont constants, sans distinction de périodes estivales ou hivernales.

On traite de manière indépendante la paroi sans protection et avec protection rapportée en place. Dans le traitement, la méthode distingue le cas où la protection rapportée est à lames inclinées ou non.

Ensuite, les corrections appliquées dans les cas courants sont les suivantes :

- Correctif pour l'impact de l'intégration à l'ouvrage $F_{\text{bâti}}^{\text{fl}}$: 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.

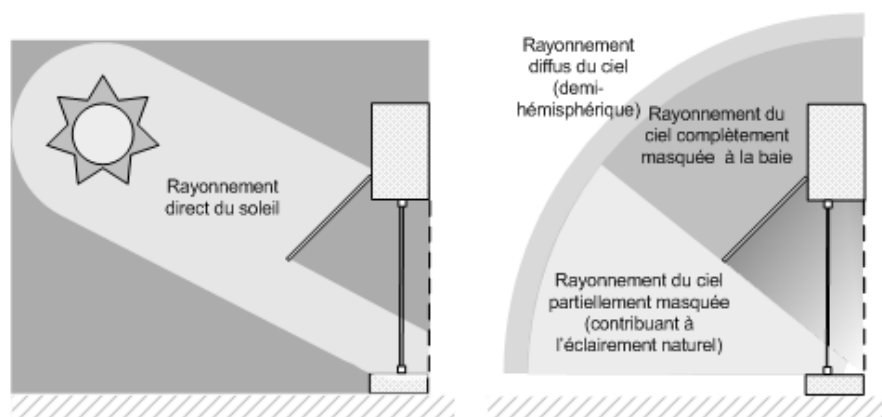


Figure 65 : Réduction d'éclairement liée à un masque à projection et à l'ouvrage pour les rayonnements du soleil et du ciel

- Correctif pour l'impact de l'incidence variable de l'éclairement provenant du soleil, du ciel et du sol sur le vitrage: $F_{\text{riv}}^{\text{fl}}$

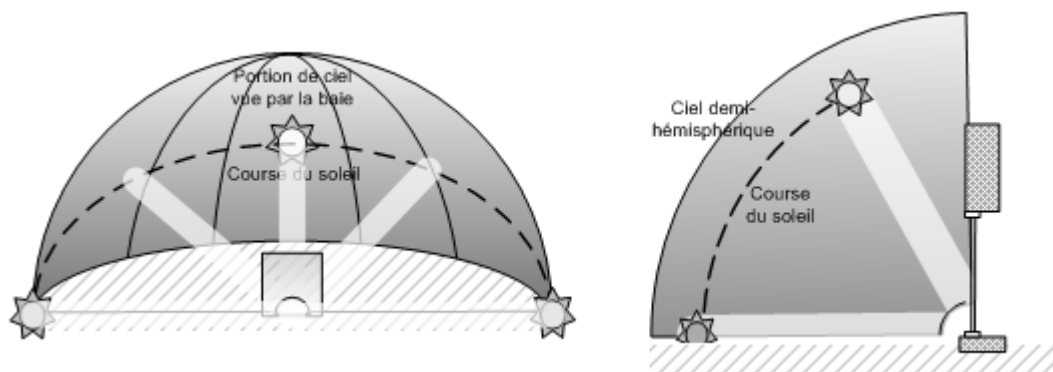


Figure 66 : Variations de l'angle d'incidence sur le vitrage pour une baie verticale orientée sud

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.

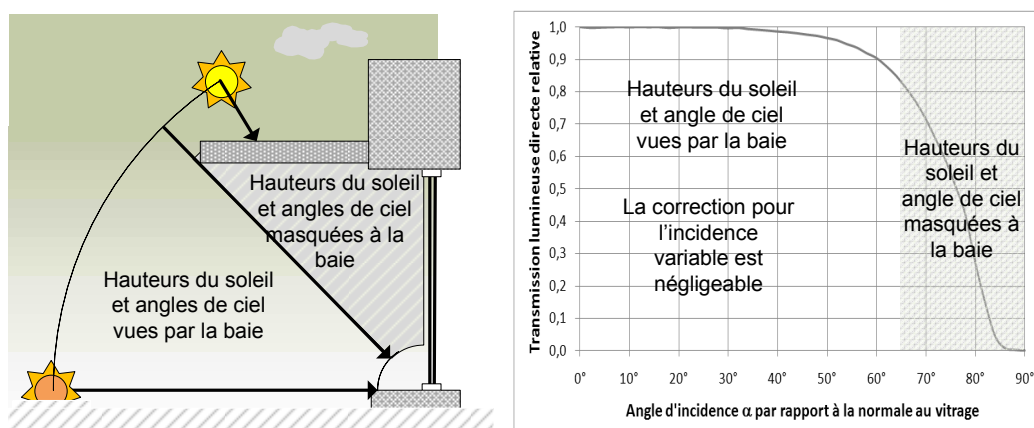


Figure 67 : Exemple d'effet sélectif pour les masques liés à l'ouvrage sur les plages de variations de l'incidence sur le vitrage (hauteur du soleil seule)

5.1 Formules générales

5.1.1 Paroi transparente ou translucide sans protection rapportée en place

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Incidence	Composante (à l'intérieur)	Résultat de l'application de la méthode
Toutes incidences	Global	$Tli_{sp,b}$
	Diffusé	$Tlid_{sp,b}$

Tableau 43 : Sorties des règles Th-L pour les cas courants sans protection rapportée

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) :

$$Tli_{sp,b} = Tlid_{sp,b} = Tlref_{sp,b}$$

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 :

$$Tlid_{sp,b} = Tlrefd_{sp,b}$$

A partir des données issues des normes, les résultats sont calculés de la manière suivante :

$$Tli_{sp,b} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl_{bati_{dir}}} \cdot F^{fl_{riv_{dir}}} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl_{bati_{dif}}} \cdot F^{fl_{riv_{dif}}} \right) \times TL_w \quad (69)$$

$$Tlid_{sp,b} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl_{bati_{dir}}} \cdot F^{fl_{riv_{dir}}} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl_{bati_{dif}}} \cdot F^{fl_{riv_{dif}}} \right) \times TL_{w_{dif}} \quad (70)$$

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 chapitre 5.2.2 ;
- **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 chapitre 5.2.3 ;
- **R^{fl_{dir}}** 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 16** (chapitre 5.2.1).

5.1.2 Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées en place

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Incidence	Composante (à l'intérieur)	Résultat de l'application de la méthode
<i>Toutes incidences</i>	Global	<i>Tli_{ap,b}</i>
	Diffusé	<i>Tlid_{ap,b}</i>

Tableau 44 : Sorties des règles Th-L pour les cas courants avec protection rapportée autres qu'à lames inclinées en place

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 des règles Th-L est la suivante :

$$Tli_{ap,b} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl_{bati_{dir}}} \cdot F^{fl_{riv_{dir}}} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl_{bati_{dif}}} \cdot F^{fl_{riv_{dif}}} \right) \times TL_{ws} \quad (71)$$

$$Tlid_{ap,b} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl_{bati_{dir}}} \cdot F^{fl_{riv_{dir}}} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl_{bati_{dif}}} \cdot F^{fl_{riv_{dif}}} \right) \times TL_{ws_{dif}} \quad (72)$$

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 chapitre 5.2.2
- $F^{fl}_{riv_dir}$ 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 chapitre 5.2.3
- R^{fl}_{dir} 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 16** (chapitre 5.2.1).

5.1.3 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 :

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	$Tlid_{ap_ref,b}(\alpha)$

Tableau 45 : Sorties des règles Th-L pour les cas courants avec protection rapportée à lames inclinées en place

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 $\gamma = \eta$) :

$$\begin{bmatrix} Tli_{ap_dir,b}(\gamma, \alpha) \\ Tlid_{ap_dir,b}(\gamma, \alpha) \end{bmatrix} = F^{fl}_{bati_dir} \times F^{fl}_{riv_dir} \times \begin{bmatrix} TL_{ws_dir}(\eta, \alpha) \\ TL_{ws_dir,dif}(\eta, \alpha) \end{bmatrix} \quad (73)$$

$$\begin{bmatrix} Tld_{ap_dif,b}(\alpha) \\ Tld_{ap_ref,b}(\alpha) \\ Tlid_{ap_ref,b}(\alpha) \end{bmatrix} = F^{fl}_{bati_dif} \times F^{fl}_{riv_dif} \times \begin{bmatrix} TL_{ws_dif}(\alpha) \\ TL_{ws_ref}(\alpha) \\ TL_{ws_ref,dif}(\alpha) \end{bmatrix} \quad (74)$$

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 chapitre 5.2.2 ;

- $F_{riv_dir}^{fl}$ 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 chapitre 5.2.3.

5.2 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 direct 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.

5.2.1 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 :

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

Tableau 46 : Part du rayonnement total sur la baie en incidence directe, noté R_{dir}^{fl}

5.2.2 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 baie²¹ :

²¹ Note : le facteur K est indépendant de la position de la paroi vitrée dans la baie, au nu intérieur ou extérieur.

$$K = \frac{L.H}{e.(L + H)} \quad (75)$$

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 68**.

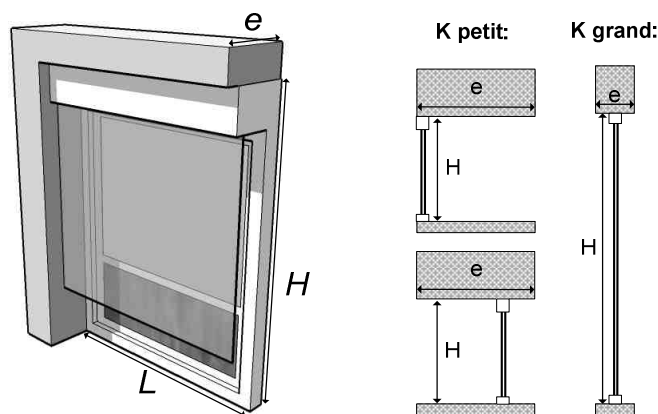


Figure 68 : Prise en compte du contour de la baie sur le facteur de transmission lumineuse

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'éclairement 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 : $F_{\text{bati_dir}}^{\text{fl}} = 1$ et $F_{\text{bati_dif}}^{\text{fl}} = 1$. Sinon, le coefficient de correction pour l'éclairement direct du soleil $F_{\text{bati_dir}}^{\text{fl}}$ est obtenu à partir du tableau suivant :

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

Tableau 47 : Valeurs du coefficient de prise en compte du tableau de la baie pour le rayonnement direct (soleil) $F_{\text{bati_dir}}^{\text{fl}}$ selon la valeur de K

Le coefficient de correction pour l'éclairement diffus est obtenu à partir du tableau suivant :

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

Tableau 48 : Valeurs du coefficient de prise en compte du tableau de la baie pour le rayonnement diffus (ciel et sol) $F_{\text{bati_dif}}^{\text{fl}}$

Baie verticale avec débords latéraux et/ou surplombs

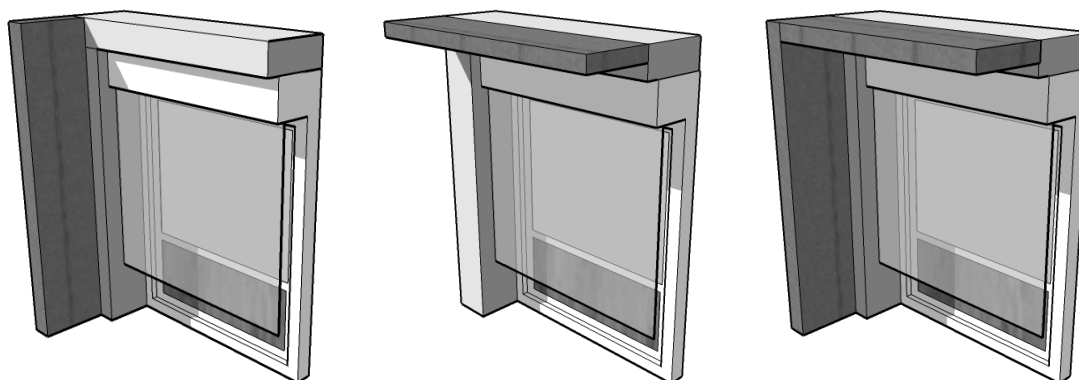


Figure 69 : Masques proches de type débords latéraux et surplombs

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 des règles Th-L, ce cas de figure se traduit par :

$$F_{\text{bati_dir}}^{\text{fl}} = F_{\text{bati_dif}}^{\text{fl}} = 1$$

Baie verticale avec masque à projection fixe inclinée

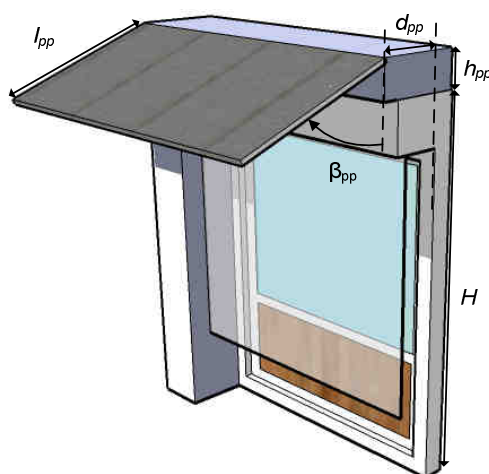


Figure 70 : Masque à projection fixe inclinée

Pour le rayonnement solaire direct, on introduit un coefficient caractéristique des dimensions du masque à projection:

$$r_{pp} = \frac{l_{pp}}{H} \quad (76)$$

Où :

- l_{pp} est la longueur du masque à projection,
- H est la hauteur de la baie, telle que définie en **Figure 43**.

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'éclairement direct du soleil :

r_{pp}	K	Orientation de la baie	$\beta_{pp} = 45^\circ$			$\beta_{pp} = 90^\circ$		
			$\tau_{pp}=0$	$\tau_{DD}=0,2$ $C_{opp}=0$	$\tau_{DD}=0,2$ $C_{opp}=0,2$	$\tau_{pp}=0$	$\tau_{DD}=0,2$ $C_{opp}=0$	$\tau_{DD}=0,2$ $C_{opp}=0,2$
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

Tableau 49 : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement direct (soleil) $F_{\text{bati_dir}}^{\text{fl}}$

Pour l'éclairement diffus du ciel et du sol :

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

Tableau 50 : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement diffus (ciel et sol) $F_{\text{bati_dif}}^{\text{I}}$

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 dans les règles Th-S, au travers d'une méthode simplifiée. Le coefficient intègre également la correction associée à l'épaisseur de la paroi opaque.

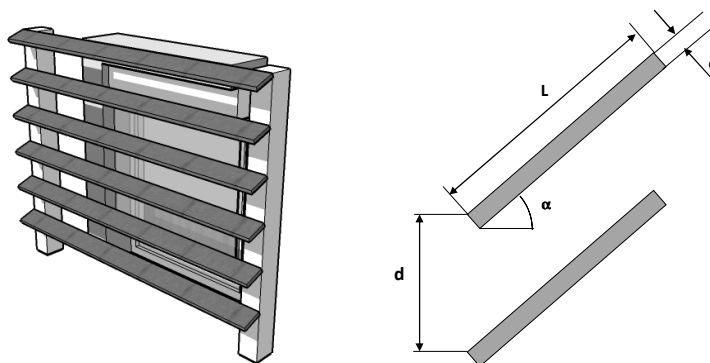


Figure 71 : Brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées en façade

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 éclairagements 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.

	$\tau_{v,dir-h}(\eta)$							$\tau_{v,dif-ciel-h}$	$\tau_{v,ref-sol-h}$
η	0	15	30	45	60	75	90	-	-

Tableau 51 : 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

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 21**, le $\tau_{v,dir-h}(\eta)$ se détermine par interpolation linéaire.

- Calcul du coefficient de correction du brise-soleil seul pour l'éclairement 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'éclairement 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 chapitre 0.

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),

$$\omega(t) = \text{Min}[90; \arccos(\cos(\gamma(t)) \cdot \cos(\Psi(t) - \theta))] \quad (77)$$

- $E_{rp}(t)$, flux lumineux direct incident sur le plan extérieur du brise-soleil (en Lux) :

$$E_{rp}(t) = E_{Dn}(t) \cdot \cos(\omega(t)) \quad (78)$$

- $\eta(t)$, 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) :

$$\eta(t) = \arctan\left(\frac{\tan(\gamma(t))}{\cos(\Psi(t) - \theta)}\right) \quad (79)$$

- $Erp^*(t)$ le flux lumineux direct transmis par le brise-soleil sur la paroi considérée à une heure donnée t (en Lux) :

$$Erp^*(t) = \tau_{v,dir-h}(\eta(t)) \cdot Erp(t) \quad (80)$$

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 21**.

Au final, le coefficient de correction du brise-soleil seul pour l'éclairage direct du soleil est le suivant :

$$F_{bati_dir_BS}^{fl} = \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2} Erp^*(t)}{\sum_{t=t_1}^{t_2} Erp(t)} \quad (81)$$

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 :

$$F_{bati_dif_BS}^{fl} = \frac{R_{dif}^{fl} \cdot \tau_{v,dif-ciel-h} + R_{ref}^{fl} \cdot \tau_{v,ref-sol-h}}{R_{dif}^{fl} + R_{ref}^{fl}} \quad (82)$$

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 :

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

Tableau 52 : 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

- **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 :

$$\begin{aligned} F_{bati_dir}^{fl} &= F_{bati_dir(encadrement)}^{fl} \times F_{bati_dir_BS}^{fl} \\ F_{bati_dif}^{fl} &= F_{bati_dif(encadrement)}^{fl} \times F_{bati_dif_BS}^{fl} \end{aligned} \quad (83)$$

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 47** et du **Tableau 48**.

- 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.

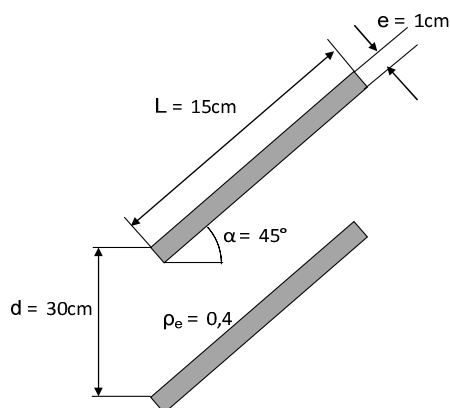


Figure 72 : Caractéristiques types de brise-soleil à lames fixes inclinées

L'application de la méthode de la norme XP P50-777 fournit les caractéristiques lumineuses du brise-soleil suivantes :

	$\tau_{v,dir-h}(\eta)$							$\tau_{v,dif-ciel-h}$	$\tau_{v,ref-sol-h}$
η	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

Tableau 53 : 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

Sur cette base, le calcul des coefficients de correction du facteur de transmission lumineuse pour l'intégration au bâti aboutit aux résultats suivants :

$F_{bati_dir}^{fl}$			
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
$F_{bati_dif}^{fl}$			
Toute orientation	0,25	0,35	0,40

Tableau 54 : Valeurs des coefficients de correction d'un brise-soleil à lames fixes inclinées pour un rayonnement direct (soleil) $F_{bati_dir}^{fl}$ et pour un rayonnement diffus (ciel et sol) $F_{bati_dif}^{fl}$

5.2.3 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 ($F_{riv,dir}$), et diffuse du ciel et du sol ($F_{riv,dif}$).

Les valeurs des deux coefficients pour différentes configurations sont données ci-dessous.

	$F_{riv,dir}^{fl}$	$F_{riv,dif}^{fl}$
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

Tableau 55 : Valeurs du coefficient de correction lié à l'incidence variable $F_{riv,dir}^{fl}$ et $F_{riv,dif}^{fl}$

6. Application de la méthode pour le cas particulier des lanterneaux à base de polycarbonate multi-alvéolaire

Le chapitre traite du calcul des composantes du facteur de transmission lumineuse le matériau polycarbonate seul, puis de son intégration dans des procédés complets de type lanterneaux.

Les parois polycarbonate traitées dans ce chapitre se limitent aux configurations suivantes :

- Paroi polycarbonate multi-alvéolaire sans protection solaire rapportées.
- Paroi polycarbonate multi-alvéolaire opales (majoritairement diffusant).
- Paroi polycarbonate multi-alvéolaire dont les alvéoles sont symétriques.
- Paroi polycarbonate multi-alvéolaire dont le facteur de réémission thermique Sg_2 ne dépasse pas la valeur de 0,08.
- Paroi polycarbonate multi-alvéolaire à remplissage gazeux ; sont exclus en particulier les matériaux polycarbonates remplis de silice nano-structurée.

Les lanterneaux sont considérés horizontaux (inclinaison de la baie $\beta < 10^\circ$) et à section rectangulaire.

Les tubes de lumière (section ronde et paroi spéculaire) ne sont pas traités.

6.1 Plaque de polycarbonate seule

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

$$TL_w = \tau_{v,n-h} \quad (85)$$

$$TL_{w_dif} = \tau_{v,n-h} - \tau_{v,n-n} \quad (85)$$

Où :

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

6.2 Ensemble du lanterneau

6.2.1 Formules d'application

Les facteurs de transmission lumineuse des lanterneaux sont corrigés d'une manière similaire à ceux des cas courants de baie. On introduit des coefficients de correction pour la prise en compte de la costière et de l'incidence variable sur le dispositif. Un coefficient supplémentaire est appliqué pour prendre en compte la forme du lanterneau, en comparaison du cas standard d'une section constante.

$$Tli_{sp,b} = F_{forme_{LT}} (R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl_{cost}_{dir}} \cdot F^{fl_{rivLT}_{dir}} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl_{cost}_{dif}} \cdot F^{fl_{rivLT}_{dif}}) \times TL_w \quad (86)$$

$$Tlid_{sp,b} = F_{forme_{LT}} (R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl_{cost}_{dir}} \cdot F^{fl_{rivLT}_{dir}} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl_{cost}_{dif}} \cdot F^{fl_{rivLT}_{dif}}) \times TL_{w_dif} \quad (87)$$

Où :

- $F_{\text{forme_LT}}$ est le coefficient correctif pour prendre en compte une éventuelle variation de section du lanterneau le long de son axe vertical (chapitre 6.2.4) ;
- $F_{\text{cost_dir}}^{\text{fl}}$ et $F_{\text{cost_dif}}^{\text{fl}}$ sont les coefficients de correction associés à la costière, calculés selon la procédure décrite au chapitre 6.2.4 ;
- $F_{\text{rivLT_dir}}^{\text{fl}}$ et $F_{\text{rivLT_dif}}^{\text{fl}}$ sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus sur le polycarbonate, calculés selon la procédure décrite au chapitre 6.2.3 ;
- $R_{\text{dir}}^{\text{fl}}$ 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 16** (chapitre 5.2.1).

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 :

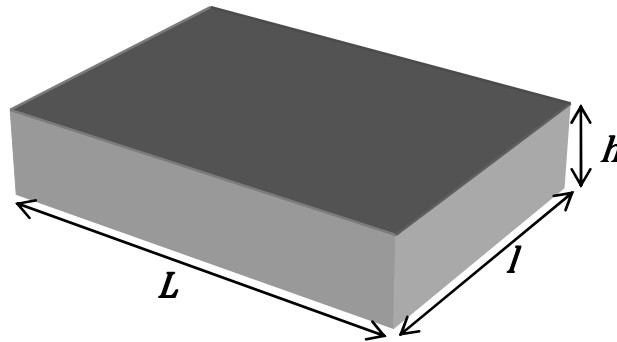


Figure73 : Dimensions du lanterneau

$$K = \frac{L.l}{h.(L + l)} \quad (88)$$

Où :

- o L et l sont les largeur et 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 :

$$Rat_{LT} = 100 \times \frac{A_{PCA}}{L \times l} (\%) \quad (89)$$

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 lanternaux (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).

6.2.2 Prise en compte de la costière du lanterneau

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

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 56 : Valeurs du coefficient de prise en compte de la costière pour le rayonnement direct (soleil)
 $F_{cost_dir}^{fl}$ 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

Tableau 57 : Valeurs du coefficient de prise en compte de la costière pour le rayonnement diffus (ciel et sol)
 $F_{cost_dif}^{fl}$ selon la valeur de K et du facteur de réflexion ρ

6.2.3 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:

$$F_{rivLT_dir}^{fl} = 0,85$$

$$F_{rivLT_dif}^{fl} = 0,85$$

Note : pour représenter la transmission directe du PCA "clair", on se réfère à la courbe générique de la Figure 74.

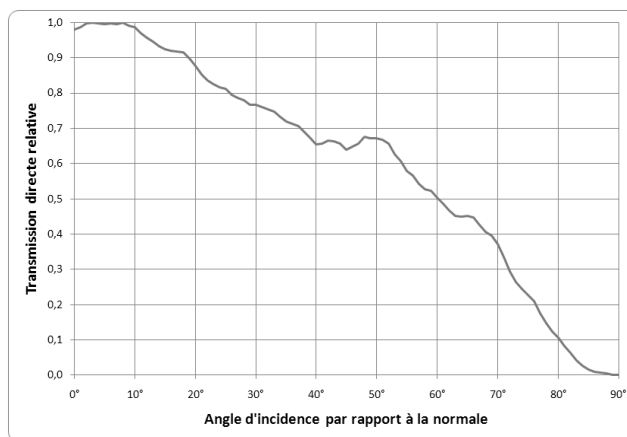


Figure 74 : Courbe générique pour la transmission directe du PCA "clair"

6.2.4 Prise en compte de la forme du lanterneau

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

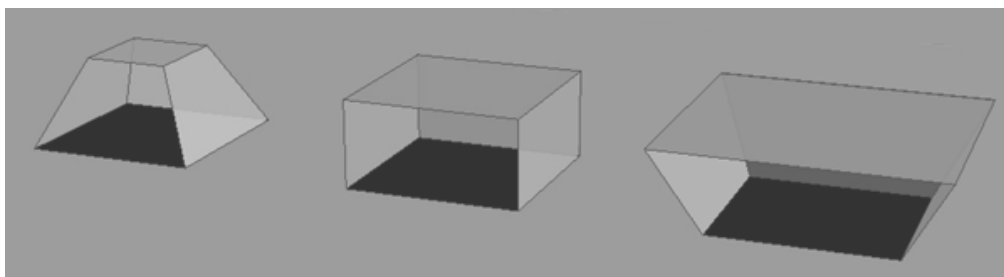


Figure 75 : Profils d'évasement de lanterneaux

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

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

Tableau 58 : Facteur correctif F_{forme_LT} à appliquer en fonction de l'évasement du lanterneau

ANNEXE : PRISE EN COMPTE DE LA PARTIE OUVERTE DE LA BAIE

La présente annexe ne s'applique pas si la méthode de destination réalise elle-même un calcul de la surface d'ouverture effective (en prenant en compte les éléments fixes) par rapport à la surface totale de la baie. Les facteurs de transmission « *ouv* » sont alors employés sans la présente correction pour la prise en compte de la partie ouverte de la baie.

Cette distinction n'est possible de manière simplifiée que lorsque l'ouverture se traduit par une partie de la baie fermée non-affectée et une partie de la baie totalement ouverte, identifiable à un trou. Il s'agit par exemple des fenêtres coulissantes, ou à double battants avec un battant fermée et l'autre complètement ouvert. Parmi les cas exclus, on peut citer les fenêtres oscillantes, ou à simple battant. Ainsi, dans le cas d'une baie coulissante partiellement ouverte, on ne prendra pas en compte l'effet du coulissant sur les propriétés de la partie fermée.

Les règles Th-S n'intègrent pas de prise en compte de la position de la partie fixe par rapport à la partie ouvrable de la baie. La protection est supposée recouvrir simultanément la partie fixe et la partie ouverte (pour un ratio de protection en place donné).

On introduit les grandeurs suivantes :

- A_b la surface totale des parois remplissant la baie (paroi transparente, cadre et éléments opaques).
- A_{ouv_max} la surface maximale d'ouverture (tous éléments compris) des parois remplissant la baie
- Les facteurs de transmission lumineuse de la partie fixe de la baie, notée avec un indice « *_pfixe* ». Ces facteurs sont déterminés par application de la méthode

Paroi ouverte sans protection rapportée en place

Une ouverture laisse passer l'intégralité du rayonnement incident de manière directe :

$$Tl_{ouv} = 1 \quad (90)$$

$$Tl_{ouvs_n,dif} = 0 \quad (91)$$

A partir de ces derniers, les facteurs de transmission lumineuse en intégrant la partie fixe de la paroi et en ramenant à la surface totale en tableau de la baie :

$$\begin{bmatrix} Tl_{wouv} \\ Tl_{wouv_n,dif} \end{bmatrix} = \frac{A_{ouv_max}}{A_b} \times \begin{bmatrix} Tl_{ouv} \\ Tl_{ouv_n,dif} \end{bmatrix} + \left(1 - \frac{A_{ouv_max}}{A_b}\right) \times \begin{bmatrix} Tl_{w_pfixe} \\ Tl_{w_n,dif_pfixe} \end{bmatrix} \quad (92)$$

Où Tl_{w_pfixe} et Tl_{w_n,dif_pfixe} sont issus de l'application des normes (voir le chapitre 4.3) à la partie fixe de la baie.

En prenant en compte les coefficients de correction liés à l'intégration à l'ouvrage :

$$\begin{bmatrix} Tl_{bouov} \\ Tl_{bouov,dif} \end{bmatrix} = \left(R^{fl}_{dir} \cdot F^{fl}_{bati_dir} + (1 - R^{fl}_{dir}) \cdot F^{fl}_{bati_dif} \right) \times \begin{bmatrix} Tl_{wouv} \\ Tl_{wouv,dif} \end{bmatrix} \quad (93)$$

Où :

- $F_{bati_dir}^{fl}$ et $F_{bati_dif}^{fl}$ sont calculés selon la procédure décrite au chapitre 5.2.2.
- 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 16**.

Paroi ouverte avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées en place

Les facteurs de transmission lumineuse sont ceux de la protection rapportée en place seule.

Ainsi, Tl_{ouvs} et $Tl_{ouvs_n,dif}$ sont déterminés selon la norme NF EN 14500.

Note : dans cette norme ils sont notés $\tau_{v,n-h}$ et $\tau_{v,n-dif}$.

A partir de ces derniers, les facteurs de transmission lumineuse en prenant en compte l'ensemble des éléments de la paroi sont les suivants :

$$\begin{bmatrix} Tl_{wouvs} \\ Tl_{wouvs_n,dif} \end{bmatrix} = \frac{A_{ouv_max}}{A_b} \times \begin{bmatrix} Tl_{ouvs} \\ Tl_{ouvs_n,dif} \end{bmatrix} + \left(1 - \frac{A_{ouv_max}}{A_b}\right) \times \begin{bmatrix} Tl_{ws_pfixe} \\ Tl_{ws_n,dif_pfixe} \end{bmatrix} \quad (94)$$

En prenant en compte les coefficients de correction liés à l'intégration à l'ouvrage :

$$\begin{bmatrix} Tl_{bouvs} \\ Tl_{bouvs_dif} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F_{bati_dir}^{fl} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F_{bati_dif}^{fl} \right) \times \begin{bmatrix} Tl_{wouvs} \\ Tl_{wouvs_dif} \end{bmatrix} \quad (95)$$

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 chapitre 5.2.2
- 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 9 (chapitre 5.2.2).

L'impact de l'incidence variable sur la protection rapportée est négligé.

Paroi ouverte avec protection rapportée à lames inclinées en place

Les facteurs de transmission lumineuse sont ceux de la protection rapportée en place seule.

Les valeurs de $Tl_{ouvs_dir}(\eta, \alpha)$, $Tl_{ouvs_dir,dif}(\eta, \alpha)$, $Tl_{ouvs_dif}(\alpha)$, $Tl_{ouvs_ref}(\alpha)$ et $Tl_{ouvs_ref,dif}(\alpha)$ sont déterminées selon la norme XP P50-777 Annexe A, pour la protection rapportée seule.

$$\begin{bmatrix} Tl_{wouvs_dir}(\eta, \alpha) \\ Tl_{wouvs_dir,dif}(\eta, \alpha) \\ Tl_{wouvs_dif}(\alpha) \\ Tl_{wouvs_ref}(\alpha) \\ Tl_{wouvs_ref,dif}(\alpha) \end{bmatrix} = \frac{A_{ouv_max}}{A_b} \times \begin{bmatrix} Tl_{ouvs_dir}(\eta, \alpha) \\ Tl_{ouvs_dir,dif}(\eta, \alpha) \\ Tl_{ouvs_dif}(\alpha) \\ Tl_{ouvs_ref}(\alpha) \\ Tl_{ouvs_ref,dif}(\alpha) \end{bmatrix} + \left(1 - \frac{A_{ouv_max}}{A_b}\right) \times \begin{bmatrix} Tl_{ws_dir_pfixe}(\eta, \alpha) \\ Tl_{ws_dir,dif_pfixe}(\eta, \alpha) \\ Tl_{ws_dif_pfixe}(\alpha) \\ Tl_{ws_ref_pfixe}(\alpha) \\ Tl_{ws_ref,dif_pfixe}(\alpha) \end{bmatrix} \quad (96)$$

En prenant en compte les coefficients de correction liés à l'intégration à l'ouvrage :

$$\begin{bmatrix} Tl_{bs_dir}(\eta, \alpha) \\ Tl_{bs_dir_dif}(\eta, \alpha) \end{bmatrix} = F_{r_bati_dir} \times \begin{bmatrix} Tl_{ws_dir}(\eta, \alpha) \\ Tl_{ws_dir_dif}(\eta, \alpha) \end{bmatrix} \quad (97)$$

$$\begin{bmatrix} Tl_{bs_dif}(\alpha) \\ Tl_{bs_ref}(\alpha) \\ Tl_{bs_ref_dif}(\alpha) \end{bmatrix} = F_{r_bati_dif} \times \begin{bmatrix} Tl_{ws_dif}(\alpha) \\ Tl_{ws_ref}(\alpha) \\ Tl_{bs_ref_dif}(\alpha) \end{bmatrix} \quad (98)$$

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 chapitre 5.2.2

D Règles ThI

Caractérisation de l'inertie thermique

1. LE CADRE GENERAL

L'inertie thermique est une donnée des réglementations thermiques portant sur la limitation de l'inconfort thermique en saison chaude, la limitation du besoin bioclimatique et la limitation de la consommation d'énergie des bâtiments. On distingue 2 types d'inertie thermique :

- **l'inertie quotidienne** qui est utilisée dans les méthodes d'application des réglementations thermiques pour caractériser l'amortissement de l'onde quotidienne de température et d'ensoleillement en saison chaude ainsi que pour caractériser le taux de récupération des apports de chaleur en hiver (période de 24 h) ;
- **l'inertie séquentielle** qui est utilisée dans les méthodes d'application des réglementations thermiques pour caractériser l'amortissement de l'onde séquentielle de température en saison chaude (période de 12 jours).

La démarche principale des règles Th-I est de déterminer la classe d'inertie quotidienne d'un bâtiment appelée « **classe d'inertie** » à partir des caractéristiques des parois. La « classe d'inertie » est utilisée comme donnée d'entrée dans les méthodes d'application des réglementations thermiques.

		Inertie quotidienne	Inertie séquentielle
		CLASSE D'INERTIE }	<i>CLASSE D'INERTIE SEQUENTIELLE</i> (cf annexe 2) }
Calcul de la consommation et du besoin bioclimatique (cf annexe 4)		Capacité quotidienne et coefficient d'échange avec l'ambiance	
Calcul du confort thermique en été (cf annexe 4)		Capacité quotidienne et surface d'échange avec l'ambiance	Capacité séquentielle ⁽²⁾

Schéma général des règles Th-I

- (1) La caractérisation de l'inertie séquentielle peut être utilisée pour rechercher une valorisation de l'effet des gains d'inertie séquentielle d'une paroi. Cependant cet effet est significatif sur le résultat que si la paroi offre une capacité thermique séquentielle importante. Cette caractérisation est présentée en **annexe 2**.

L'approche des règles Th-I est issue de la norme NF EN ISO 13786 « *Performance thermique des composants de bâtiment - Caractéristiques thermiques dynamiques - Méthodes de calcul* ». Cette norme définit les caractéristiques relatives à l'inertie thermique d'éléments de bâtiments constitués d'une ou plusieurs couches planes de matériaux homogènes. La capacité thermique d'une paroi est exprimée en Joule par Kelvin (J/°K) et non en kg.

Cette approche permet une prise en compte plus fine du phénomène transitoire, que l'approche par la « masse utile » (« masse utile » = masse limitée à 150 kg/m² de paroi en inertie quotidienne). En effet les différentes couches qui constituent la « masse utile » ne sont pas soumises à la même sollicitation thermique : les premières couches de la face interne de la paroi possèdent ainsi une « masse » plus active que les couches plus profondes de la paroi. De plus la caractérisation du phénomène transitoire est basée sur la profondeur de pénétration périodique de l'onde thermique : les matériaux à chaleur volumique forte (matériaux denses) possèdent, à masse égale, une capacité thermique supérieure à celle des matériaux à plus faible chaleur volumique. Enfin la caractérisation de l'inertie d'un local prend en compte, non seulement les caractéristiques intrinsèques de chaque paroi, mais aussi la combinaison des effets de chaque paroi à travers leur surface d'échange avec le local : un ensemble de parois à caractéristiques thermiques identiques offre globalement plus d'efficacité qu'un ensemble hétérogène de parois, où les temps de réponse de chaque paroi sont différents. Ainsi un local qui possède une « masse utile » répartie sur l'ensemble de ses parois possède une inertie plus forte qu'un local où cette même « masse utile » est concentrée sur un plus petit nombre de parois.

La nouvelle approche par point d'inertie, présentée dans ce document, a été bâtie avec ces éléments, pour offrir une méthode simple d'emploi et adaptée à la conception.

2. LA DEMARCHE

La classe d'inertie (quotidienne) peut être déterminée par l'une ou l'autre des approches suivantes :

- détermination forfaitaire (*chapitre 2*) ;
- détermination par « points d'inertie » (*chapitre 3*) ;
- détermination par le calcul (*annexe 1*).

L'inertie d'un bâtiment, ou d'une zone thermique, est déterminée à partir de l'inertie de chacun des niveaux du bâtiment ou de la zone considérée. Pour chaque niveau, les ouvrages pris en compte sont les éléments intérieurs aux parties chauffées au sens de la réglementation thermique.

L'inertie d'un bâtiment (ou d'une zone) est celle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne.

Remarque : dans le cas d'une caractérisation globale du bâtiment, le niveau le plus défavorisé correspond en règle générale au niveau sous toiture. Un niveau est plus défavorisé qu'un autre si sa classe d'inertie est plus faible.

2.1. Définitions

Les définitions suivantes sont applicables à l'ensemble de ce document :

La **surface utile** d'un bâtiment ou d'une zone est la surface habitable pour les logements et la SHON pour les autres bâtiments ().

Un plancher en « **béton plein** » est un plancher constitué de dalles de béton ou d'éléments préfabriqués pleins en béton à base d'agréats lourds de masse volumique supérieure à 1.800 kg /m³. De même un mur en « **béton plein** » est mur constitué de béton banché, de bloc de béton, ou de panneaux préfabriqués en béton, à base d'agréats lourds de masse volumique supérieure à 1.800 kg /m³.

Un **bloc de « béton perforé »** est un bloc de béton conforme à la norme NF P 14 301 ne présentant pas plus de 20 % de vide d'air ;

Une « **brique perforée** » est une brique de terre cuite conforme à la norme NF P 13.304 présentant moins de 25 % de vide d'air ;

Un revêtement est considéré sans effet thermique soit si sa masse volumique est supérieure à 900 kg/m³, soit si sa résistance thermique est inférieure à 0.02 m².K/W (on peut, pour les apprécier, utiliser les valeurs tabulées définies dans les règles Th-U chapitre A2 Matériaux) ;

Lorsqu'un niveau comprend des types de revêtements différents au sens de l'effet thermique, on retient le type d'effet thermique correspondant à la plus grande surface. On peut aussi calculer la résistance thermique de l'ensemble par la moyenne des résistances pondérées par les surfaces ;

L'absence de revêtement (locaux industriels) est à considérer comme revêtement sans effet thermique. les revêtements ayant une faible résistance thermique ($R_{inf} \leq 0,02 \text{ m}^2.K/W$) sont considérés comme sans effet thermique.

Une **lame d'air ventilée en faux plafond** est définie selon la norme EN ISO 6946-1 :

Type de lame d'air en faux plafond	Surface d'ouverture libre
Lame d'air non ventilée	inférieure à 500 mm² par m² de superficie
Lame d'air faiblement ventilée	comprise entre 500 mm² et 1 500 mm² d'ouverture par m² de superficie
Lame d'air moyennement ou fortement ventilée	supérieure à 1 500 mm² par m² de superficie

2.2. Détermination forfaitaire de la classe d'inertie

La classe d'inertie (quotidienne) d'un niveau de bâtiment est déterminée directement à partir du **tableau A** :

Plancher bas	Plancher haut	Paroi verticale	Classe d'inertie
lourd	lourd	lourde	très lourde
-	lourd	lourde	lourde
lourd	-	lourde	lourde
lourd	lourd	-	lourde
-	-	lourde	moyenne
-	lourd	-	moyenne
lourd	-	-	moyenne
-	-	-	très légère

Tableau A : Détermination forfaitaire de la classe d'inertie d'un niveau de bâtiment

Remarques :

La restriction portant sur la taille des locaux conduit à valoriser le cloisonnement lorsqu'il possède une surface importante.

Il y a correspondance entre la classification obtenue par cette approche forfaitaire, et celle obtenue par l'approche par points d'inertie. En effet, une paroi qui n'est pas classée « lourde » peut contribuer à l'inertie du bâtiment. De même, l'inertie du mobilier est aussi pris en compte implicitement.

Définition du « plancher haut lourd » :

- plancher sous toiture (terrasse, combles perdus, rampant lourd):
 - ◊ *béton plein* de plus de 8 cm isolé par l'extérieur et sans faux plafond (*);
- sous face de plancher intermédiaire :
 - ◊ *béton plein* de plus de 15 cm sans isolant et sans faux plafond (*);
- tout plancher ayant 5 points d'inertie ou plus pour sa face inférieure.

() Ne sont considérés que les faux plafonds possédant une lame d'air non ventilée ou faiblement ventilée (moins de 1 500 mm² d'ouverture par m² de surface), couvrant plus de la moitié de la surface du plafond du niveau considéré.*

Définition du « plancher bas lourd » :

- face supérieure de plancher intermédiaire avec un « revêtement sans effet thermique » :
 - ◊ *béton plein* de plus de 15 cm sans isolant,

- ◇ chape ou dalle de béton de 4 cm ou plus sur entrevous lourds (béton, terre cuite), sur béton cellulaire armé ou sur dalles alvéolées en béton.
- plancher bas avec isolant thermique en sous face avec un « *revêtement sans effet thermique* » :
 - ◇ *béton plein* de plus de 10 cm d'épaisseur
 - ◇ chape ou dalle de béton de 4 cm ou plus sur entrevous non isolants (béton, terre cuite), sur béton cellulaire armé ou sur dalles alvéolées en béton.
 - ◇ dalle de béton de 5 cm ou plus sur entrevous en matériau isolant
- tout plancher ayant 5 points d'inertie ou plus pour sa face supérieure.

Définition d'une « paroi verticale lourde » : un niveau de bâtiment possède une paroi verticale lourde si elle remplit l'une ou l'autre des conditions suivantes :

- Lorsque la surface de mur est au moins égale à 0,9 fois la surface de plancher (maisons individuelles), murs de façade et pignon isolés par l'extérieur avec à l'intérieur :
 - ◇ *béton plein* (banché, bloc, préfabriqué) de 7 cm ou plus,
 - ◇ blocs aggro béton 11 cm ou plus,
 - ◇ perforés en béton 10 cm ou plus,
 - ◇ bloc creux béton 11 cm ou plus,
 - ◇ brique pleine ou perforée 10,5 cm ou plus ;
- murs extérieurs à isolation répartie de 30 cm minimum, avec un cloisonnement réalisé en bloc de béton, en brique plâtrière enduite ou en carreau de plâtre de 5 cm minimum ou en béton cellulaire de 7 cm minimum ;
- ensemble de doublage intérieur des murs extérieurs et de cloisonnements, de 5 cm minimum réalisé en bloc de béton, brique enduite ou carreau de plâtre ;
- lorsque la taille moyenne des locaux est inférieure à 30 m² (bâtiments d'habitation, bureaux) :
 - ◇ mur cloisonnement intérieur lourd, réalisé en :
 - ◇ béton plein de 7 cm minimum,
 - ◇ bloc de béton creux ou perforé de 10 cm minimum,
 - ◇ brique pleine ou perforée de 10,5 cm minimum,
 - ◇ autre brique de 15 cm minimum avec un enduit plâtre sur chaque face ;
- ensemble de murs de façade et pignon et de cloisons ayant au total 7 points d'inertie ou plus.

2.3. Détermination de la classe d'inertie par « point d'inertie »

La classe d'inertie (quotidienne) d'un bâtiment, ou d'une zone thermique, est déterminée par la somme des « points d'inertie » des parois qui le compose, somme à laquelle on rajoute par convention les points d'inertie du mobilier, selon le **tableau 1** :

Classe d'inertie	très légère	légère	moyenne	lourde	très lourde
Points d'inertie avec mobilier	5 ou 6	7 ou 8	9 à 12	13 à 18	19 et plus

Tableau 1 : classe d'inertie d'un niveau de bâtiment déterminée par points d'inertie

La classe d'inertie d'un bâtiment, ou d'une zone thermique, comportant plusieurs niveaux est celle du niveau le plus défavorisé (le plus souvent le dernier niveau).

Les « points d'inertie » des parois qui composent le bâtiment (ou la zone thermique étudiée) sont déterminés par l'une ou l'autre des approches suivantes :

- ◇ tableau de cotation des parois courantes (*chapitre 3-1*) ;
- ◇ tableau de cotation de parois à partir de leur capacité thermique surfacique et de leur surface ramenée à la surface utile (*chapitre 3-2*).

La démarche est présentée dans la grille suivante avec la liste des références des tableaux de cotation des parois courantes (*chap. 3-1*)

1 ^{re} étape : cotation des parois pour chaque niveau du bâtiment				
Paroi		Niveau sous toiture	Niveau courant ...	Niveau inférieur
Plancher sous toiture	(a)	(cf. Tableau 2, 3bis)		
Plancher intermédiaire (face inférieure)			(cf. Tableau 3, 3 bis)	(cf. Tableau 3,3 bis)
Plancher intermédiaire (face supérieure)	(b)	(cf. Tableau 3)	(cf. Tableau 3)	
Plancher bas		(cf. Tableau 4)(*)		(cf. Tableau 4)
Murs	(c)	(cf. Tableau 5)	(cf. Tableau 5)	(cf. Tableau 5)
Cloisons	(d)	(cf. Tableau 6)	(cf. Tableau 6)	(cf. Tableau 6)
Mobilier	(e)	(cf. Tableau 7)	(cf. Tableau 7)	(cf. Tableau 7)
Total points par niveau = (a)+(b)+(c)+(d)+(e)				

(*) dans le cas de bâtiment d'un seul niveau (pas de plancher intermédiaire)

2^e étape : déduction de la classe d'inertie du bâtiment (ou zone thermique)

Valeur minimale	→ Classe d'inertie bâtiment
-----------------	-----------------------------

Remarque : il y a correspondance entre la classification obtenue par cette approche forfaitaire, et celle obtenue par l'approche par points d'inertie. En effet, une paroi qui n'est pas classée « lourde » peut contribuer l'inertie du bâtiment. De même l'inertie du mobilier est aussi prise en compte implicitement.

Remarque : les « points d'inertie » obtenus par un ouvrage quantifient directement sa contribution à l'inertie globale du bâtiment ou de la zone étudiée : ils correspondent au rapport entre le flux échangé ramené à la surface utile et la sollicitation en température intérieure. Un point d'inertie s'exprime en W/K par m² de surface utile.

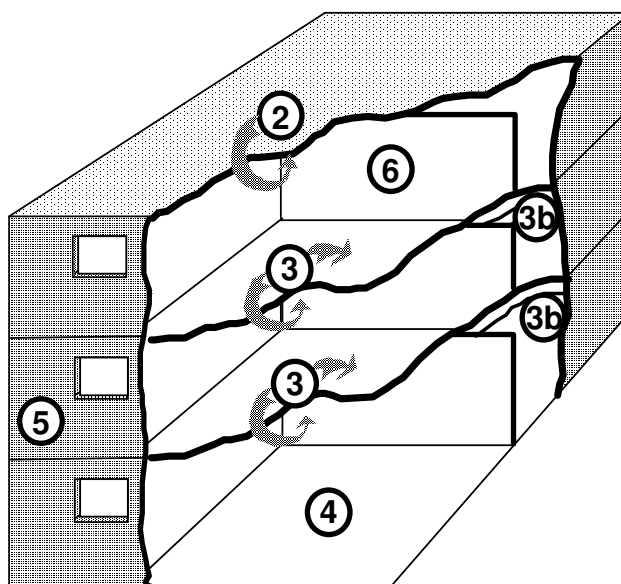


Figure 1 : Repérage des différents tableaux de cotation (hors mobilier)

Les points d'inertie d'une paroi s'entendent pour l'ensemble de la famille de paroi : par exemple un « plancher bas » de bâtiment représente l'ensemble des parois de plancher du niveau considéré vues par leur face supérieure. Lorsqu'une famille de paroi est constituée de parois ayant une cotation différente en points d'inertie, on retient le nombre de points de la paroi présentant le plus de surface.

2.3.1 Détermination des points d'inertie des parois courantes

2.3.1.1 Points d'inertie de parois courantes sous toiture

Une paroi sous toiture désigne le plancher ou le plafond sous toiture du dernier niveau aménagé du bâtiment (plafond ou plancher sous combles perdus, plafonds rampants, terrasses).

La cotation en points d'inertie d'une paroi courante de toiture sans faux plafond est donnée dans le tableau 2 ci-après.

La colonne « Type de plancher haut » permet la cotation de la toiture lorsqu'il s'agit de plancher haut avec un faux plafond (*cf. tableau 3 bis*).

DESCRIPTIF DES PAROIS COURANTES DE TOITURE	POINTS D'INERTIE	Type de plancher haut
Paroi avec isolation côté extérieur ou placée sous une toiture isolée avec à l'intérieur au moins :		
Plancher <i>béton</i> 8cm ou plus	6	LOURD
Dalles alvéolées de béton de 20 cm ou plus	5	LOURD
Dalles alvéolées de béton d'épaisseur inférieure à 20 cm	4	MOYEN
Plancher en béton cellulaire armé de 20 cm ou plus	4	MOYEN
Entrevous de terre cuite ou de béton avec 1cm de plâtre en sous face	3	MOYEN
Tout type de plancher avec isolant en sous face ou plafond léger		
1 cm de plâtre en sous face d'isolant	1	LEGER
2 cm de plâtre en sous face d'isolant	2	LEGER

Tableau 2 : Points d'inertie de parois courantes de toitures (sans faux plafond)

2.3.1.2 Points d'inertie de parois courantes de plancher intermédiaire

L'inertie d'un plancher intermédiaire, entre deux niveaux d'un bâtiment, s'apprécie pour ses deux faces qui font l'objet chacune d'une cotation en points d'inertie :

- Face supérieure qui concerne le niveau au-dessus du plancher
- Face inférieure qui concerne le niveau en dessous du plancher

La cotation en points d'inertie de chaque face d'une paroi courante de plancher intermédiaire est donnée dans le **tableau 3**.

La colonne « Type de plancher » permet la cotation de la face inférieure du plancher intermédiaire lorsqu'il possède un faux plafond en sous-face. Dans ce cas, la cotation est établie avec le tableau 3 bis.

2.3.1.3 Points d'inertie des planchers avec faux plafond

Dans le cas de plancher haut avec faux plafond ou de plancher intermédiaire avec faux plafond, il convient de prendre en compte le faux plafond dans la cotation de la face inférieure de la paroi courante lorsque la lame d'air est non ventilée ou faiblement ventilée.

Le type de plancher haut (lourd, moyen, léger) est donné dans les tableaux 2 et 3.

2.3.1.4 Points d'inertie de parois courantes de plancher bas

Le plancher bas désigne le plancher du niveau le plus bas du bâtiment. Ces parois sont cotées uniquement pour leur face supérieure (cf. tableau 4).

2.3.1.5 Points d'inertie de parois courantes de mur (parois de façades, pignons)

La surface A de paroi est déterminée pour l'ensemble de l'enveloppe verticale d'un même niveau en déduisant les baies. Elle est obtenue par la sommation des surfaces de mur utilisées par le calcul du $U_{\text{bât}}$. A_{niv} est la surface utile du niveau étudié du bâtiment (ou de la zone).

Des valeurs par défaut du rapport A/A_{niv} peuvent être retenues comme suit :

- maison individuelle isolée : $A/A_{\text{niv}} > 0,9$
- bâtiment peu épais : $0,9 > A/A_{\text{niv}} > 0,5$. *Un bâtiment peu épais est défini par un rapport entre épaisseur (distance entre façades opposées) et hauteur entre niveau inférieur à 5.*

DESCRIPTIF PAROI COURANTE DE	FACE SUPERIEURE		FACE INFERIEURE SANS FAUX PLAFOND	
PLANCHER INTERMEDIAIRE	Points d'inertie avec revêtement à effet thermique	Points d'inertie avec revêtement sans effet thermique	Points d'inertie	Type de plancher ⁽³⁾
Plancher sans isolant en sous face				
Plancher <i>béton</i> 15cm ou plus avec ou sans dalle de béton	4	6	6	LOURD
Plancher dalles alvéolées béton de 20 cm ou plus avec dalle de béton ⁽¹⁾	4	6	5	LOURD
Plancher dalles alvéolées béton inférieure à 20 cm avec dalle de béton ⁽¹⁾	4	6	4	MOYEN
Plancher béton cellulaire armé 20 cm ou plus avec chape ou dalle de béton ⁽¹⁾	4	5	4	MOYEN
Plancher entrevous de terre cuite ou de béton avec dalle de béton ⁽¹⁾ , EMS ou équivalent ⁽²⁾	4	5	3	MOYEN
Dalle de 5 cm béton plein sur isolant et plancher bois	4	5	1	Léger
Plancher bois	0	1	1	LEGER
Tout plancher avec isolant en sous face				
sans plâtre	<i>Cf. partie haute du tableau :</i>	<i>cf. partie haute du tableau :</i>	0	LEGER
1 cm de plâtre	<i>plancher sans isolant</i>	<i>plancher sans isolant</i>	1	
2 cm de plâtre			2	

Tableau 3 : Points d'inertie de parois courantes de plancher intermédiaire

⁽¹⁾ Une chape ou dalle adhérente en béton, une chape ou dalle flottante avec ou sans résilient acoustique en sous-face est prise en compte lorsque son épaisseur excède 4 cm.

⁽²⁾ Ajouter un point d'inertie si l'ensemble dalle adhérente en béton et chape est continu et d'au moins 9 cm d'épaisseur, uniquement dans le cas avec revêtement sans effet thermique.

⁽³⁾ Le « type de plancher » est une caractérisation du plancher sans faux plafond (même si celui-ci ne peut être utilisé sans faux plafond) utilisée pour la détermination des points d'inertie des parois courantes de plancher avec faux plafond selon le tableau 3bis.

DESCRIPTIF PAROI		POINTS D'INERTIE W/(K.m ²)		
FAUX PLAFOND	LAME D'AIR	Plancher LOURD	Plancher MOYEN	Plancher LEGER
TOUT FAUX PLAFOND	Lame d'air moyennement ventilée ou fortement ventilée	Faux Plafond non pris en compte : <u>Toiture</u> : cf. tableau 2 <u>Plancher intermédiaire</u> : cf. tableau 3		
Faux plafond en fibre de roche, laine de roche ou fibre de verre (épaisseur variant de 15 à 20mm)	Lame d'air non ventilée	1	1	1
	Lame d'air faiblement ventilée	2	2	1
Faux plafond en terre cuite (épaisseur 30 mm ou plus)	Lame d'air non ventilée	3	3	1
	Lame d'air faiblement ventilée	3	3	1
Faux plafond en plâtre (épaisseur 15 mm ou plus)	Lame d'air non ventilée	3	2	1
	Lame d'air faiblement ventilée	3	2	1
Faux plafond en aluminium ou en acier (épaisseur 0,5mm)	Lame d'air non ventilée	3	2	1
	Lame d'air faiblement ventilée	4	3	1
Faux plafond en fibre de bois (épaisseur variant de 15 à 20mm)	Lame d'air non ventilée	2	1	1
	Lame d'air faiblement ventilée	3	2	1
Faux plafond en polystyrène (épaisseur variant de 10 à 25mm)	Lame d'air non ventilée	1	1	1
	Lame d'air faiblement ventilée	2	1	1

Tableau 3 bis : Points d'inertie de parois courantes de plancher avec faux plafond

DESCRIPTIF PAROI	POINTS D'INERTIE W/(K.m ²)	
	Revêtement avec effet thermique	Revêtement sans effet thermique
Plancher <i>béton plein</i> de plus de 10 cm d'épaisseur avec isolant en sous-face ^(*)	4	6
Tout plancher avec dalle de béton de 5 cm d'épaisseur et plus	4	5
Plancher béton cellulaire ou dalles alvéolées béton, ou entrevous de terre cuite ou de béton, avec dalle de béton de 4 cm d'épaisseur	4	5

Tableau 4 : Points d'inertie de parois courantes de plancher bas

^(*) dans le cas d'un plancher sur terre-plein, l'isolant peut être placé en périphérie.

POINTS D'INERTIE W/(K.m ² sol) DESCRIPTIF PAROI	Surface de paroi ramenée à la surface utile A/A _{niv}		
	A/A _{niv} > 0,9	0,9 > A/A _{niv} > 0,5	0,5 > A/A _{niv} > 0,25
Isolation extérieure avec à l'intérieur			
◇ béton plein 7 cm ou plus, ◇ bloc perforé en béton 10 cm ou plus ◇ bloc creux béton 11 cm ou plus, ◇ brique pleine ou <i>perforée</i> 10,5 cm ou plus	5	3	1
◇ autres briques 15 cm ou plus enduites	4	2	1
Isolation répartie avec			
◇ brique de terre cuite à perforations verticales de 37 cm ou plus	4	2	1
bloc de béton cellulaire 30 cm ou plus	3	2	1
brique de terre cuite à perforations verticales de 30 cm à 36 cm	3	2	1
Isolation intérieure			
◇ cloison brique 5 cm ou plus enduite ◇ doublage carreau de plâtre 5 cm ◇ doublage bloc béton 5 cm	3	1	1
◇ cloison brique 3,5 cm ou plus enduite	2	1	1
◇ doublage 1 cm plâtre	1	0	0
Panneau léger de remplissage - bardages métalliques	1	0	0

Tableau 5 : Points d'inertie de parois courantes de mur (parois de façades, pignons)

2.3.1.6 Points d'inertie de parois courantes de cloisons

Il s'agit des parois de distribution verticales et de cloisonnements du bâtiment. Leur cotation en points d'inertie est donnée dans le **tableau 6**.

La taille moyenne des locaux, A_{loc} , est obtenue de manière implicite par l'usage principal :

- habitation, hébergement : $A_{loc} < 30 \text{ m}^2$
- enseignement : $30 < A_{loc} < 100 \text{ m}^2$
- grandes surfaces de vente : $A_{loc} > 100 \text{ m}^2$

Si un doute existe autour des valeurs limites 30 et 100 m^2 , A_{loc} est obtenue en divisant la surface utile du niveau étudié, A_{niv} , par le nombre de locaux aménagés (y compris hall, locaux techniques, locaux sanitaires, etc...) à l'exclusion des dégagements et circulations.

POINTS D'INERTIE W/(K.m ²) DESCRIPTIF PAROI	TAILLE MOYENNE DES LOCAUX (A_{loc})		
	$A_{loc} < 30 \text{ m}^2$	$30 < A_{loc} < 100 \text{ m}^2$	$A_{loc} > 100 \text{ m}^2$
Béton plein ou bloc perforé en béton 10 cm ou plus	8	5	2 (*)
Brique pleine ou <i>perforée</i> 10,5 cm ou plus Bloc plein ou perforé en béton 7,5 cm enduit	7	4	2 (*)
Bloc creux béton 10 cm enduit ou plus	6	3	1 (*)
Brique 15 cm ou plus enduite Bloc de béton cellulaire 15 cm enduit	5	2 (*)	1 (*)
Brique creuse 5 cm ou plus enduite, ou Carreau de plâtre plein 6 cm ou Bloc aggro béton 5 cm enduit Ou Bloc de béton cellulaire 7 cm enduit	4	2 (*)	1 (*)
Brique 3,5 cm enduite	3	1 (*)	0 (*)
Cloison alvéolaire à parement de plâtre 1 cm sur chaque face	2 (*)	1 (*)	0 (*)

Tableau 6 : Points d'inertie de parois courantes de distribution et de cloisonnement

(*) si le bâtiment possède un (ou des) refend(s) intérieur(s) de masse surfacique supérieure à 120 kg/m^2 et placé(s) à une distance inférieure à 12 m l'un de l'autre et par rapport aux pignons, son nombre de points d'inertie de « distribution-cloisonnement » ne peut être inférieur à 2 si les refends possèdent un doublage intérieur, et à 3 en absence de doublage intérieur.

2.3.1.7 Cotation de l'inertie du mobilier

POINTS D'INERTIE W/(K.m ²)	USAGE DU BATIMENT	
	Habitation hébergement bureau, santé,	Sports
DESCRIPTIF MOBILIER		
Valeur forfaitaire	1	0

Tableau 7 : Cotation de l'inertie du mobilier

2.3.2 Détermination des points d'inertie d'une paroi à partir de sa capacité thermique et de sa surface

Les points d'inertie **d'une paroi**, horizontale ou verticale, peuvent être déterminés à partir de sa capacité thermique surfacique quotidienne χ_j (kJ/m²K) et de sa surface ramenée à la surface utile A/A_{niv} (-) selon **le tableau 8**. Les points d'inertie des parois en *béton plein* peuvent être déterminés à partir de l'épaisseur active de la paroi e (cm) au lieu de χ_j .

avec : A (m²) : surface de la paroi déduction faite des baies (fenêtres, portes, etc.)

A_{niv} (m²) : surface utile du niveau étudié en retenant les surfaces habitables pour les logements et la SHON pour les autres bâtiments (;

χ_j (kJ/m²°K) : capacité calorifique surfacique de la paroi (face intérieure) calculée selon la norme NF EN ISO 13786 «*Performance thermique des composants de bâtiment - Caractéristiques thermiques dynamiques - Méthodes de calcul*» pour une période de 24 heures ;

e (cm) : l'épaisseur de béton plein comptée par l'intérieur jusqu'à une couche isolante. Si la paroi n'est pas isolée (*ex. : plancher intermédiaire, refend*) l'épaisseur prise en compte est limitée à la moitié de l'épaisseur totale.

	Capacité thermique surfacique quotidienne χ_j (kJ/m ² K)							
	10 à 24	25 à 39	40 à 59	60 à 79	80 à 99	100 à 139	140 à 199	200 et plus
A/A_{niv}	Epaisseur paroi en <i>béton plein</i> comptée par l'intérieur : e (cm)							
					4	5 à 7	8 à 20	>20
0,2	0	0	1	1	1	1	1	1
0,4	0	1	1	1	2	2	2	3
0,6	0	1	2	2	3	3	3	4
0,8	1	1	2	3	4	4	5	5
1,0	1	2	3	4	4	5	6	6
1,2	1	2	3	4	5	6	7	8
1,4	1	2	4	5	6	7	8	9
1,6	1	3	4	6	7	8	9	10

Tableau 8 : Points d'inertie d'une paroi selon sa capacité surfacique quotidienne et sa surface - équivalence en épaisseur de paroi en béton plein

Les cloisons placées à l'intérieur de l'enveloppe, bénéficient d'un cumul des points attribués pour chacune des deux faces (en regard de la capacité thermique déterminée pour chaque face).

Cette approche n'est utilisable que pour la détermination des points d'inertie d'une paroi dans le cadre de l'approche par points d'inertie. Pour la détermination par le calcul de l'inertie d'un bâtiment ou d'une zone thermique, l'utilisateur se référera à l'approche par le calcul (*annexe 1*).

ooo ANNEXES ooo

Annexe 1 : Détermination de l'inertie quotidienne par le calcul

Annexe 2 : Détermination de l'inertie séquentielle

Annexe 3 : Détermination de l'inertie horaire

Annexe 4 : Hypothèses complémentaires à la norme NF EN ISO 13786

Annexe 1 : Détermination de l'inertie quotidienne par le calcul

L'inertie thermique quotidienne d'un niveau de bâtiment (zone ou local) comporte deux paramètres :

- la capacité thermique de la zone étudiée pour une onde de 24 h (C_m)
- la surface d'échange équivalente des parois lourdes avec l'ambiance (A_m)

$C_m = \sum A_i \chi_{ji} + 20 A_{niv}$	(kJ/K)	(1)
$A_m = (\sum A_i \chi_{ji})^2 / (\sum A_i \chi_{ji}^2)$	(m^2)	(2)

avec :

$A_i (m^2)$: est la surface de la paroi i du niveau étudié du bâtiment ;

$A_{niv}(m^2)$: surface utile du niveau étudié du bâtiment en retenant les surfaces habitables pour les logements et la SHON pour les autres bâtiments ;

$\chi_{ji} (kJ/m^2K)$: est la capacité calorifique surfacique de la paroi i pour une période de 24 heures (j = indice de période journalière) calculée selon la norme NF EN ISO 13786 « *Performance thermique des composants de bâtiment - Caractéristiques thermiques dynamiques - Méthodes de calcul* »

L'inertie quotidienne du mobilier est prise en compte de manière forfaitaire à 20 kJ/K par m^2 de sol dans le cas général (habitation, hébergement, bureau, ..) et à 0 kJ/K par m^2 de sol pour les bâtiments à usage sportif. La surface du mobilier n'est pas prise en compte.

La classe d'inertie d'un niveau de bâtiment est alors déterminée par le tableau 1 :

I_{nq}	C_m/A_{niv} (kJ/m ² K)									
A_m / A_{niv}	80 à 109	110 à 164	165 à 219	220 à 259	260 à 309	310 à 329	330 à 349	350 à 369	370 à 499	500 et plus
1,0 à 1,4	t. lég.	t. lég.	t. lég.	t. lég.	légère.	légère.	légère.	légère.	légère.	légère.
1,5 à 1,9	t. lég.	t. lég.	légère	moy.	moy.	moy.	moy.	moy.	moy.	moy.
2,0 à 2,4	t. lég.	légère.	moy.	moy.	moy.	moy.	moy.	L	L	L
2,5 à 2,9	t. lég.	légère	moy.	moy.	L	L	L	L	L	L
3,0 à 3,4	t. lég.	légère	moy.	L	L	L	L	L	L	TL
3,5 à 3,9	t. lég.	légère	moy.	L	L	L	L	L	TL	TL
4,0 à 4,4	t. lég.	légère	moy.	L	L	L	L	TL	TL	TL
4,5 à 4,9	t. lég.	légère	moy.	L	L	L	TL	TL	TL	TL
5,0 et plus	t. lég.	légère	moy.	L	L	TL	TL	TL	TL	TL

Classe d'inertie : t. lég. = très légère ; moy. = moyenne ; L = lourde ; TL = très lourde

Tableau 1 : Classe d'inertie quotidienne d'un niveau de bâtiment déterminée par le calcul

Annexe 2 : Détermination de l'inertie séquentielle

La caractérisation de l'inertie séquentielle permet la prise en compte de l'inertie du bâtiment lors des séquences de chaleur en été. L'onde de température extérieure prise en compte de manière conventionnelle a une période de 12 jours.

L'inertie séquentielle d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment est l'inertie séquentielle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne.

1. Détermination forfaitaire de la classe d'inertie séquentielle

La classe d'inertie séquentielle est déterminée par directement à partir du tableau 1 :

CONDITIONS NECESSAIRES	Classe d'inertie séquentielle
pas de paroi lourde	très légère
une paroi lourde par niveau	très légère
deux parois lourdes par niveau	légère
trois parois lourdes par niveau	moyenne

Tableau 1 : Détermination forfaitaire de la classe d'inertie séquentielle

Une paroi lourde est un « plancher lourd », ou une « paroi verticale lourde », définie et déterminée selon les modalités du paragraphe 2 du chapitre 2 de ce chapitre.

2. Détermination de la classe d'inertie séquentielle par points d'inertie

La classe d'inertie séquentielle est obtenue à partir de la sommation des points d'inertie des parois (et mobilier) du niveau étudié à laquelle **on ajoute des « points d'inertie séquentielle »** (cf. tableau 2).

Classe d'inertie séquentielle	très légère	légère	moyenne	lourde
Points d'inertie totaux y compris les points d'inertie séquentielle	< 15	15 à 22	23 à 34	35 et plus

Tableau 2 : Classe d'inertie séquentielle d'un bâtiment déterminée par points d'inertie séquentielle

Les points d'inertie séquentielle correspondent au « gain d'inertie séquentielle » définit comme l'écart entre l'inertie séquentielle (profondeur de pénétration de l'onde séquentielle établie sur 12 jours) et l'inertie quotidienne (profondeur de pénétration de l'onde quotidienne établie sur 24 heures). Les points d'inertie séquentielle sont obtenus dans les tableaux suivants :

- tableau 3 : plancher haut ;
- tableau 4 : plancher intermédiaire ;
- tableau 5 : plancher bas ;
- tableau 6 : murs ;
- tableau 7 : (éventuellement) points selon le gain séquentiel calculé.

Remarque : les cloisons et le mobilier ne peuvent contribuer à l'inertie séquentielle au-delà de leur inertie quotidienne : ils ne possèdent donc pas de points spécifiques d'inertie séquentielle

Point d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher haut

Pour le dernier niveau du bâtiment, il s'agit du plancher haut du bâtiment, pour les autres niveaux, il s'agit de la face inférieure d'un plancher intermédiaire.

DESCRIPTIF PAROI	POINTS D'INERTIE SEQUENTIELLE W/(K.m ²)
Plancher haut en béton plein isolé par l'extérieur avec à l'intérieur au moins 20 cm de béton	7
Plancher haut en béton plein isolé par l'extérieur avec à l'intérieur au moins 15 cm de béton.	4
Plancher intermédiaire béton plein	1
Autres planchers hauts et intermédiaires	0

Tableau 3 : Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher haut

Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher intermédiaire

Il s'agit ici uniquement de la face supérieure d'un plancher intermédiaire.

DESCRIPTIF PAROI	POINTS D'INERTIE SEQUENTIELLE W/(K.m ²)
Plancher en béton plein d'au moins 25 cm de béton	2
Plancher en béton plein de 20 à 24 cm	1
Plancher en dalles alvéolées de béton de plus de 20 cm avec dalle de béton	1
Autres planchers	0

Tableau 4 : Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher intermédiaire

Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher bas

Ces points sont pris en compte lorsque le niveau du bâtiment (ou de la partie de bâtiment) le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne est situé au rez-de-chaussée.

DESCRIPTIF PAROI	POINTS D'INERTIE SEQUENTIELLE W/(K.m ²)
Plancher béton plein sur terre-plein avec isolant périphérique	15
Plancher en béton plein de 20 cm et plus isolé en sous face	7
Plancher en béton plein de 15 cm et plus isolé en sous face	3
Plancher en dalle alvéolée de béton de plus de 20 cm avec dalle de béton et isolé en sous-face	2
Plancher sur entrevous de terre cuite ou de béton avec dalle de béton et isolé en sous-face	1
Autres planchers	0

Tableau 5 : Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher bas

Points d'inertie séquentielle de parois courantes de mur extérieur

POINTS D'INERTIE SEQUENTIELLE $W/(K.m^2)$	Surface de paroi ramenée à la surface utile A/A_{niv}		
	$A/A_{niv} > 0,9$	$0,9 > A/A_{niv} > 0,5$	$0,5 > A/A_{niv} > 0,25$
Isolation extérieure avec à l'intérieur :			
◇ béton plein 20 cm et plus	7	4	2
◇ béton plein 16 à 20 cm	5	3	1
◇ blocs perforés béton 12,5 cm et plus	3	1	0
◇ brique pleine ou perforée 10,5 cm ou plus	1	0	0
◇ autres briques 15 cm et plus enduites	1	0	0
◇ bloc creux béton	1	0	0
Isolation répartie avec :			
◇ brique de terre cuite à perforations verticales 30 cm ou plus	5	3	1
◇ béton cellulaire	0	0	0
Isolation intérieure	0	0	0

Tableau 6 : Points d'inertie séquentielle de parois courantes de mur

Points d'inertie séquentielle d'une paroi selon le gain séquentiel surfacique

Les points d'inertie séquentielle d'une paroi peuvent être déterminés à partir du gain séquentiel surfacique $\chi_s - \chi_j$ ($\text{kJ/m}^2\text{K}$) et sa surface ramenée à la surface utile du niveau considéré A/A_{niv} (-) selon le tableau de cotation suivant :

$A/A_{niv}(-)$	Gain séquentiel surfacique $\chi_s - \chi_j$ ($\text{kJ/m}^2\text{K}$)				
	20 à 79	80 à 149	150 à 219	220 à 299	300 et plus
	Epaisseur paroi en béton plein comptée par l'intérieur : e (cm)				
	10-11	12 -15	16-19	20-24	25 et plus
0,2	0	1	1	1	2
0,4	0	1	2	3	4
0,6	0	2	3	4	6
0,8	1	2	4	6	8
1,0	1	3	5	7	10
1,2	1	3	6	8	
1,6	1	4	8		

Tableau 7 : Points d'inertie séquentielle d'une paroi selon le gain séquentiel surfacique

avec : A (m^2) : la surface de la paroi déduction faite des percements (fenêtres, portes,...)

A_{niv} (m^2) : la surface utile du niveau considéré du bâtiment ou de la zone

χ_s , χ_j ($\text{kJ/m}^2\text{K}$) : les capacités calorifiques surfaciques de la paroi calculées selon la norme NF EN ISO 13786 « *Performance thermique des composants de*

bâtiment - Caractéristiques thermiques dynamiques - Méthodes de calcul » respectivement pour une période de 12 jours et une période de 24 heures.

e (cm) : l'épaisseur de béton plein comptée par l'intérieur jusqu'à un isolant. Si la paroi n'est pas isolée (*ex. : plancher intermédiaire, refend*) l'épaisseur prise en compte est limitée à la moitié.

Cette approche n'est utilisable que pour la détermination des points d'inertie séquentielle d'une paroi dans le cadre de l'approche par points d'inertie. Pour la détermination par le calcul de l'inertie séquentielle d'un bâtiment ou d'une zone thermique, l'utilisateur se référera à l'approche par le calcul développée dans le paragraphe suivant.

3. Détermination de l'inertie séquentielle par le calcul

La capacité thermique séquentielle, C_{ms} , d'un niveau de bâtiment, ou d'une zone thermique, est déterminée sur la base des capacités calorifiques séquentielles des parois (χ_{si} avec i indice de paroi) calculées selon la norme NF EN ISO 13786 « *Performance thermique des composants de bâtiment - Caractéristiques thermiques dynamiques - Méthodes de calcul* » et des surfaces de ces parois.

$C_{ms} = \sum A_i \chi_{si} + 20 A_{niv} \quad (\text{kJ/K}) \quad (4)$
--

où :

A_i (m^2) : surface de la paroi i

A_{niv} (m^2) : surface utile du niveau considéré du bâtiment (ou de la zone)

χ_{si} ($\text{kJ/m}^2\text{°K}$) : capacité calorifique surfacique de la paroi i pour une période de 12 jours

Le mobilier est pris en compte de manière forfaitaire à 20 kJ/K par m^2 de sol dans le cas général (habitation, hébergement, bureau, ...) et à 0 kJ/K par m^2 de sol pour les bâtiments à usage sportif.

La classe d'inertie séquentielle se déduit directement de la capacité thermique séquentielle, C_{ms} , selon le tableau 8 :

Classe d'inertie séquentielle	très légère	légère	moyenne	lourde
Capacité thermique séquentielle ramenée à la surface au sol : C_{ms}/A_{niv} kJ/K par m^2 de surface utile	< 250	250 à 500	500 à 850	> 850

Tableau 8 : Classe d'inertie séquentielle d'un bâtiment déterminée par le calcul

Annexe 3 : L'inertie dans les méthodes d'application des réglementations thermiques

Les méthodes, permettant l'application de la réglementation thermique des bâtiments, utilisent deux aspects de l'inertie thermique :

- **l'inertie quotidienne** qui permet l'amortissement de l'onde quotidienne de température et d'ensoleillement (période de 24 h) pour l'approche en confort d'été ainsi que la caractérisation du taux de récupération des apports de chaleur en hiver (période de 24h). L'inertie quotidienne est caractérisée par deux données d'entrée :
 1. la capacité thermique quotidienne exprimée en kJ/K, notée C_m ;
 1. la surface d'échange équivalente exprimée en m^2 , notée A_m , qui permet une agrégation des capacités thermiques intrinsèques des parois à travers leur surface active.
- **l'inertie séquentielle** qui caractérise l'effet de la variation de la température extérieure sur une période de 12 jours. L'inertie séquentielle est caractérisée par la capacité thermique séquentielle exprimée en kJ/K, notée C_{ms} .

Les données d'entrée « inertie » des règles pour l'appréciation du confort thermique d'été (C_m , A_m et C_{ms}) sont calculées à partir de :

- la classe d'inertie quotidienne du bâtiment (ou de la zone);
- la classe d'inertie séquentielle du bâtiment (ou de la zone) ;
- et la surface utile du bâtiment (ou de la zone), exprimée en m^2 , notée $A_{bât}$.

1-Détermination de C_m et de A_m

La capacité thermique quotidienne, C_m , et la surface d'échange avec l'ambiance, A_m , sont déterminées dans le tableau 1 :

CLASSE D'INERTIE QUOTIDIENE	Capacité quotidienne C_m (kJ/K)	Surface d'échange A_m (m^2)
• très légère	$80 \times A_{bât}$	$2,5 \times A_{bât}$
• légère	$110 \times A_{bât}$	$2,5 \times A_{bât}$
• moyenne	$165 \times A_{bât}$	$2,5 \times A_{bât}$
• lourde	$260 \times A_{bât}$	$3,0 \times A_{bât}$
• très lourde	$370 \times A_{bât}$	$3,5 \times A_{bât}$

Tableau 1 : Détermination de C_m et A_m comme valeur d'entrée des règles d'application des réglementations thermiques

La classe d'inertie quotidienne est déterminée soit par le mode forfaitaire selon le chapitre 1 du document, soit par « points d'inertie » selon le chapitre 2 du document, soit par le calcul selon les modalités décrites dans l'annexe1 du document. Dans ce dernier cas, ce sont les

valeurs C_m et A_m du tableau 1 qui sont utilisés à la place des valeurs C_m et A_m du projet qui ont servi à déterminer la classe d'inertie quotidienne.

L'approche se fait niveau par niveau en retenant le niveau le plus défavorisé du bâtiment ou de la partie de bâtiment étudiée vis-à-vis de l'inertie quotidienne.

2-Détermination de C_{ms}

La capacité thermique séquentielle, C_{ms} , exprimée en kJ/m^2 , est déterminée par la classe d'inertie séquentielle selon le tableau 2 :

CLASSE D'INERTIE SEQUENTIELLE	Capacité séquentielle C_{ms} (kJ/K)
• Indéterminée (valeur par défaut)	$C_{ms} = C_m$
• très légère	$C_{ms} = C_m$
• légère	$250 \times A_{\text{bât}}$
• moyenne	$500 \times A_{\text{bât}}$
• lourde	$850 \times A_{\text{bât}}$

Tableau 2 : Détermination de C_{ms} comme valeur d'entrée des règles d'application des réglementations thermiques pour le calcul du confort thermique d'été.

La classe d'inertie séquentielle est déterminée dans l'annexe 2. Toutefois la détermination de l'inertie séquentielle est facultative. Une valeur par défaut peut être utilisée : dans ce cas les gains d'inertie séquentielle ne sont pas valorisés.

Lorsque le bâtiment ou la zone étudiée possède plusieurs niveaux, la classe d'inertie séquentielle d'un bâtiment correspond à la classe d'inertie séquentielle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne.

Annexe 4 : Hypothèses complémentaires à la norme NF EN ISO 13786

Pour conduire les calculs, quelques précisions ou compléments par rapport à la norme NF EN ISO 13786 ont été apportés.

1 Masse négligeable

Dans l'annexe A de la norme NF EN ISO 13786, il est utilisé le terme de masse négligeable. Pour les besoins du calcul, une valeur limite doit être fixée pour cette masse. Ainsi, les matériaux ayant un poids inférieur à 2 kg/m^2 seront considérés comme des matériaux ayant une masse négligeable. Si un matériau de masse négligeable est situé aux extrémités du composant à étudier, seule sa résistance thermique interviendra dans le calcul de la capacité thermique pour l'annexe A.

Remarque : les valeurs obtenues avec l'annexe A normative peuvent être utilisées de la même manière que les valeurs issues du calcul détaillé dès lors que les conditions d'utilisation de l'annexe A sont respectées. L'utilisateur peut retenir la valeur qu'il souhaite parmi les deux valeurs obtenues par l'application stricte de la norme.

2 Epaisseur efficace pour l'inertie séquentielle

L'inertie séquentielle, utilisée pour caractériser l'amortissement de l'onde séquentielle de température en saison chaude, est déterminée pour une période de 12 jours. Cependant, dans l'annexe A de la norme NF EN ISO 13786, il n'y a pas de valeur définie de l'épaisseur efficace pour cette période. En conservant la valeur de la diffusivité thermique de la norme, l'épaisseur efficace pour 12 jours est de 34cm.

3 Couche isolante

Une couche est dite isolante si sa conductivité thermique est inférieure à $0,065 \text{ W/m.K}$ et si sa résistance thermique est supérieure à $0,5 \text{ m}^2.\text{K/W}$.

4 Faux plafonds (ou plancher technique)

Les différentes catégories de faux plafond sont les suivantes :

- les « faux plafonds avec une lame d'air non ventilée » ;
- les « faux plafonds avec une lame d'air faiblement ventilée » ;
- les « faux plafonds avec une lame d'air fortement ventilée ».

La distinction entre les trois types de plafonds s'opère de la manière suivante :

1. si le faux plafond est étanche à l'air d'après les données du constructeur, se sera un « faux plafond avec une lame d'air non ventilée »,
2. si le faux plafond ne possède pas de fente ou trous alors que les données du fabricant précisent qu'il n'est pas étanche à l'air, ce sera un « faux plafond avec une lame d'air faiblement ventilée »
3. si le faux plafond est constitué de lames disjointes ou à trous alors ce sera un « faux plafond à lame d'air fortement ventilée »

4. si un doute existe sur l'étanchéité, on utilisera la définition de la norme EN ISO 6946-1. On parlera de faux plafond non ventilé s'il y a moins de 500 mm² d'ouverture par m² de superficie, de faux plafond faiblement ventilés s'il y a entre 500 mm² et 1 500 mm² d'ouverture par m² de superficie et de faux plafonds fortement ventilés dans le dernier cas.

D'autre part, les valeurs choisies pour les résistances thermiques superficielles sont celles correspondant à un flux de chaleur horizontal.

5 Cavités dans les composants de paroi

Les hypothèses faites pour les cavités sont les suivantes :

- le flux de chaleur est horizontal ;
- h_{ro} (coefficient de rayonnement du corps noir) = 5,1 W/m².K ;
- ε (émissivité hémisphérique) = 0,9.

Le calcul de la résistance thermique de la cavité d'air se fait ensuite à partir de l'équation suivante :

$$R_g = \frac{1}{h_a + \frac{1}{2} \cdot E \cdot h_{ro} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2}} - \frac{d}{b} \right)}$$

6 Epaisseur minimale d'une paroi

Lorsqu'on étudie des composants de « faible épaisseur » (inférieure à 7 ou 8cm pour une période journalière), d'importantes différences ont été constatées entre les résultats de l'approche matricielle et ceux de l'annexe A. Cette différence est due à une divergence sur le calcul détaillé pour les faibles épaisseurs. En effet, dans certains cas, les valeurs fournies par l'approche matricielle sont impossibles. Par exemple, pour 1mm de béton sur une période d'un jour, on obtient dans le premier cas 50 fois plus que la capacité thermique du matériau avec l'annexe A. Par conséquent, pour certaines épaisseurs qui sont fonction de la période d'étude, (plus celle-ci est importante, plus l'épaisseur sera grande), les résultats donnés par **l'annexe A doivent être adoptés pour les faibles épaisseurs.**

7 Inertie séquentielle d'une paroi

Pour le **calcul de l'inertie séquentielle, il faut adopter l'annexe A.** En effet, compte tenu du problème concernant les « faibles épaisseurs », les valeurs obtenues par l'approche matricielle seraient erronées. De plus, étant donné que la période d'étude est de 12 jours, l'épaisseur où l'on rencontre des problèmes a une valeur très importante. Pour du béton plein, un résultat équivalent entre les deux méthodes est obtenu seulement pour des épaisseurs supérieures à 50 cm.

Remarques sur les aspects thermiques non pris en compte

Les aspects thermiques non pris en compte sont les suivants :

- *0 Effet d'aillette externe des composants avant des surfaces extérieures non planes : leur influence équivalente à une augmentation du coefficient de convection est négligeable pour les couches de plus de 5 cm.

*1 Effet d'ailettes et diffusion latérale internes aux composants avec cavité n'est pas prise en compte dans le calcul de la capacité thermique des matériaux hétérogènes. Cet effet thermique de second ordre ne peut être modélisé de manière simple.

*2 Ponts thermiques des parois