

Annexe IV : Règles « Th-Bat 2020 » - données d'entrée au calcul de la performance énergétique

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| 1. FASCICULE « GENERALITES » | 4 |
| 1.1 INTRODUCTION AUX REGLES TH-BAT | 4 |
| 1.1.1 Domaine d'application | 4 |
| 1.1.2 Contenu | 4 |
| 1.1.3 Références normatives | 5 |
| 1.1.4 Définitions, symboles et indices | 7 |
| 1.2 Détermination des caractéristiques thermiques utiles | 12 |
| 1.3 Conventions | 12 |
| 1.3.1 Température et humidité des matériaux | 12 |
| 1.3.2 Résistances thermiques superficielles | 12 |
| 1.3.3 Parois déperditives | 13 |
| 1.3.4 Ponts thermiques des liaisons | 16 |
| 1.3.5 Dimensions | 16 |
| 1.3.6 Convention relative au cas des panneaux sandwichs lourds | 18 |
| 1.4 Indicateurs complémentaires | 19 |
| 1.4.1 Ration de transmission thermique linéique moyen global | 19 |
| 1.4.2 Coefficient de transmission thermique Ψ_0 | 19 |
| 1.4.3 $U_{bât}$ | 20 |
| 1.5 Coefficient de réduction de température | 21 |
| 1.5.1 Calcul | 21 |
| 1.5.2 Valeurs par défaut | 22 |
| 2. FASCICULE « MATERIAUX » | 28 |
| 2.1 Introduction | 28 |
| 2.1.1 Références normatives | 28 |
| 2.1.2 Termes et définitions, symboles et unités | 30 |
| 2.1.3 Caractéristiques thermiques | 31 |
| 2.1.4 Maçonneries | 33 |
| 2.2 Valeurs par défaut | 34 |
| 2.2.1 Pierres | 34 |
| 2.2.2 Bétons | 35 |
| 2.2.3 Plâtres | 39 |
| 2.2.4 Terre cuite | 40 |
| 2.2.5 Végétaux | 40 |
| 2.2.6 Matériaux isolants manufacturés | 44 |
| 2.2.7 Matières plastiques synthétiques compactes, mastics et produits d'étanchéité | 52 |
| 2.2.8 Métaux | 54 |
| 2.2.9 Autres matériaux | 54 |
| 3. FASCICULE « PAROIS VITREES » | 57 |
| 3.1 Introduction | 57 |
| 3.1.1 Coefficient de transmission thermique U | 57 |
| 3.1.2 Facteur de transmission solaire S | 57 |
| 3.1.3 Facteur de transmission lumineuse TL | 59 |

| | | |
|------------------------|--|------------|
| 3.1.4 | Références normatives | 60 |
| 3.1.5 | Définitions, symboles et indices..... | 62 |
| 3.1.6 | Facteurs de transmission solaire ou lumineuse : l'apport des règles Th-Bât | 71 |
| 3.2 | Méthodes de calcul des parois vitrées par procédé | 74 |
| 3.2.1 | Fenêtres et Portes-fenêtres..... | 74 |
| 3.2.2 | Fenêtres de toit..... | 80 |
| 3.2.3 | Fenêtres à galandage..... | 81 |
| 3.2.4 | Doubles fenêtres, doubles portes ou doubles portes-fenêtres..... | 89 |
| 3.2.5 | Blocs-baies..... | 90 |
| 3.2.6 | Coffres de volet roulant | 94 |
| 3.2.7 | Portes | 98 |
| 3.2.8 | Plaque de polycarbonate seule..... | 102 |
| 3.2.9 | Lanterneaux | 104 |
| 3.2.10 | Bardages et couvertures en polycarbonate | 119 |
| 3.2.11 | Parois en briques de verre..... | 124 |
| 3.2.12 | Conduits de lumière..... | 131 |
| 3.2.13 | Façades rideaux | 138 |
| 3.2.14 | Façades double peau | 143 |
| 3.2.15 | Verrières | 154 |
| 3.2.16 | Vérandas | 164 |
| 3.2.17 | Présentation des résultats..... | 183 |
| 3.3 | Intégration de la paroi vitrée dans l'ouvrage | 184 |
| 3.3.1 | Méthode générale de prise en compte du coefficient U_w de la paroi vitrée | 184 |
| 3.3.2 | Méthode générale de prise en compte du coefficient S_w de la paroi vitrée | 184 |
| 3.3.3 | Méthode générale de prise en compte du facteur de transmission lumineuse TL_w de la paroi vitrée | 203 |
| 4. | <i>FASCICULE « PAROIS OPAQUES ».....</i> | 217 |
| 4.1 | Introduction | 217 |
| 4.1.1 | Domaine d'application | 217 |
| 4.1.2 | Références normatives | 217 |
| 4.1.3 | Définitions, symboles et indices | 217 |
| 4.2 | Caractéristiques thermiques utiles des parois opaques | 223 |
| 4.3 | Méthodes de calcul..... | 223 |
| 4.3.1 | Méthodes générales | 223 |
| 4.3.2 | Éléments de méthodes complémentaires | 254 |
| 5. | <i>FASCICULE « PONTS THERMIQUES ».....</i> | 259 |
| 5.1 | Introduction | 259 |
| 5.1.1 | Domaine d'application | 259 |
| 5.1.2 | Références normatives..... | 259 |
| 5.1.3 | Définitions, symboles et indices | 259 |
| 5.2 | Méthodes de calcul des ponts thermiques | 261 |
| 5.2.1 | Définition du pont thermique | 261 |
| 5.2.2 | Types de ponts thermiques | 262 |
| 5.2.3 | Procédure de calcul..... | 262 |
| 5.2.4 | Facteurs solaires | 267 |
| 5.3 | Valeurs par défauts des ponts thermiques | 272 |
| 5.3.1 | Légende : | 272 |
| 6. | <i>FASCICULE « INERTIE ».....</i> | 284 |
| CHAPITRE I..... | CHAPITRE I..... | 284 |

| | | |
|--------------------------|---|------------|
| 6.1 | Introduction | 284 |
| 6.1.1 | les coefficients de l'inertie thermique | 284 |
| 6.1.2 | Références normatives..... | 285 |
| 6.1.3 | Nomenclature..... | 288 |
| 6.1.4 | Définitions | 289 |
| 6.1.5 | Lien aux autres fascicules..... | 289 |
| CHAPITRE II..... | | 290 |
| 6.2 | La méthode forfaitaire..... | 290 |
| 6.2.1 | Détermination forfaitaire de la classe d'inertie quotidienne..... | 290 |
| 6.2.2 | Détermination forfaitaire de la classe d'inertie séquentielle | 292 |
| 6.2.3 | Détermination forfaitaire de la classe d'inertie annuelle..... | 294 |
| Chapitre III..... | | 295 |
| 6.3 | Détermination de l'inertie par le calcul..... | 295 |
| 6.3.1 | détermination de la capacité thermique surfacique | 295 |
| 6.3.2 | Détermination de l'inertie quotidienne par le calcul | 299 |
| 6.3.3 | Détermination de l'inertie séquentielle par le calcul | 300 |
| 6.3.4 | Détermination de l'inertie annuelle par le calcul..... | 300 |
| Chapitre IV..... | | 302 |
| 6.4 | calcul des points d'inertie | 302 |
| 6.4.1 | Détermination de la classe d'inertie quotidienne par « points d'inertie »..... | 303 |
| 6.4.2 | Détermination de la classe d'inertie séquentielle par « points d'inertie »..... | 311 |
| 6.4.3 | Détermination de la classe d'inertie annuelle par « points d'inertie » | 315 |

1. FASCICULE « GENERALITES »

1.1 INTRODUCTION AUX REGLES TH-BAT

1.1.1 *DOMAINE D'APPLICATION*

Les règles Th-Bât ont pour objet la détermination des données d'entrée aux calculs de la performance énergétique du bâtiment pour le calcul réglementaire. Elles ne traitent que de la performance thermique, énergétique et lumineuse utile ¹ (des produits et/ou procédés d'enveloppe. Pour vérifier l'aptitude à l'emploi et l'absence de pathologie liée à la mise en œuvre d'un produit/procédé donné, il faut se reporter aux règles de l'art et/ou aux documents d'évaluation correspondants. Ainsi, les schémas qui y figurent ne constituent pas des détails d'exécution ou de mise en œuvre d'un produit/procédé ou système et ne servent qu'à illustrer les paramètres ayant un impact sur la performance thermique/énergétique/lumineuse de l'ensemble.

1.1.2 *CONTENU*

Les règles Th-bat constituent l'ensemble des formules, principes et moyens de détermination de la performance thermique, énergétique et lumineuse des composants d'enveloppe pour l'application des réglementations thermiques.

Elles fournissent également des valeurs par défaut qui peuvent être utilisées dans les conditions définies au chapitre V du présent arrêté.

Des conditions d'application particulières sont données dans les différents fascicules.
Les règles Th-Bat comportent six fascicules :

– Fascicule « Généralités »

Ce fascicule est commun aux cinq autres fascicules. Il définit le principe de caractéristiques thermiques utiles des parois et ponts thermiques, servant au calcul des performances énergétiques du bâtiment, et donne les conventions de calcul communes aux autres fascicules. Il fournit des valeurs par défaut.

– Fascicule « Matériaux »

Ce fascicule fournit les méthodes de détermination des caractéristiques thermiques utiles des matériaux et fournit des valeurs par défaut pour les matériaux les plus courants (conductivité thermique, capacité thermique massique et facteur de résistance à la vapeur d'eau) ;

– Fascicule « Parois vitrées »

Ce fascicule fournit les méthodes de détermination des caractéristiques thermiques utiles des coefficients de transmission thermique surfacique (U), des facteurs solaires (S) et des transmission lumineuses (TL) des parois vitrées et fournit des valeurs par défaut.

– Fascicule « Parois opaques »

Ce fascicule fournit les méthodes de détermination des caractéristiques thermiques utiles des coefficients de transmission thermique surfacique (U), des facteurs solaires (S) des parois opaques et des lames d'air et fournit des valeurs par défaut.

– Fascicule « Ponts thermiques »

¹ Voir la définition d'une caractéristique thermique utile au §1.4.1

Ce fascicule fournit les méthodes de détermination des caractéristiques thermiques utiles des coefficients de transmission thermiques linéique (Ψ), des facteurs solaires (S) des ponts thermiques et fournit des valeurs par défaut pour les liaisons les plus courantes.

– Fascicule « Inertie »

Ce fascicule fournit les méthodes de détermination des caractéristiques thermiques dynamique à l'échelle de la paroi et du bâtiment. Il fournit également des valeurs par défaut.

1.1.3 REFERENCES NORMATIVES

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

La justification des caractéristiques thermiques des éléments d'enveloppe du bâtiment peut s'effectuer de deux manières différentes : soit par un essai sur le composant qui sera mise en œuvre en appliquant l'une des normes d'essais référencées ci-après, soit par un calcul en appliquant les règles Th-bat et ses principes issus des normes de calcul, des normes produits ou autres normes listées ci-après.

Normes d'essai (version en vigueur à la date de publication des présentes règles Th-bat)

- 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 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 12664** Performance thermique des matériaux et produits pour le bâtiment - Détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique - Produits secs et humides de moyenne et basse résistance thermique
- 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

- 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 2 : Méthode numérique pour profilés de menuiserie.
- NF EN 673** Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode de calcul.
- NF EN ISO 12631** Performance thermique des façades-rideaux - Calcul du coefficient de transmission thermique.
- NF EN ISO 6946** Composants et parois de bâtiments – Résistance thermique et coefficient de transmission thermique – Méthode de calcul.
- NF EN 13125** Fermetures pour baies équipées de fenêtres, stores intérieurs et extérieurs – Résistance thermique additionnelle – Attribution d'une classe de perméabilité à l'air à un produit.
- NF EN ISO 10211** Ponts thermiques dans les bâtiments - Flux thermiques et températures superficielles - Calculs détaillés.
- EN 410** Verre dans la construction : détermination des caractéristiques lumineuses et solaires des vitrages.
- ISO 52022-3** Méthode de calcul détaillée des caractéristiques solaires et de lumière du jour pour les dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages.
- EN 14500** Fermetures et stores : confort thermique et lumineux, méthode de calcul.
- XP P50-777** Détermination du facteur de transmission solaire et lumineuse.
- NF EN ISO 13370** Performance thermique des bâtiments - Transfert de chaleur par le sol - Méthodes de calcul.
- NF EN ISO 13786** Performance thermique des composants du bâtiment – Caractéristiques thermiques dynamiques – Méthode de calcul

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 sodo-calcique. |
| NF EN 14351-1 | Fenêtres et portes — Norme produit, caractéristiques de performance — Partie 1 : Fenêtres et blocs portes extérieurs pour piétons. |
| NF EN 14501 | Fermetures et stores : confort thermique et lumineux, caractérisation des performances et classification. |
| NF EN 16153 | Plaques d'éclairage multiparois et planes en polycarbonate (PC) pour usage intérieur ou extérieur dans les toitures, bardages et plafonds - Exigences et méthodes d'essai. |
| NF EN 1873 | Accessoires préfabriqués pour couverture - Lanterneaux ponctuels en matière plastique - Spécifications des produits et méthodes d'essais. |
| NF EN 14963 | Éléments de couverture - Lanterneaux continus en matière plastique avec et sans costière - Classification, spécifications et méthodes d'essais. |
| NF EN 13830 | Façades rideaux - Norme de produit. |

Autres normes

| | |
|-----------------------|--|
| 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. |

1.1.4 DEFINITIONS, SYMBOLES ET INDICES

1.1.4.1 Définitions

Les définitions données ci-après s'appliquent à l'ensemble des règles Th- bat.

- 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 servant à l'éclairage, le passage ou l'aération. Une paroi transparente ou translucide est considérée comme une baie

- 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 paragraphe 3.5 de ce fascicule)

- Paroi opaque isolée : Paroi opaque dont le coefficient de transmission thermique U n'excède pas 0,5 W/(m².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/(m².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/(m².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 m².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 m².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.)

- 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-faires 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 R-433-1 à R 433-2 et L 433-3 à L 433-11 du code de la consommation

- Valeurs tabulées : valeurs obtenues par application directe des méthodes et valables dans les plages de donnée d'entrée utilisées pour l'application des méthodes.

- Valeur par défaut : valeur sécuritaire à utiliser comme caractéristique thermique utile pour le bâtiment neuf, en absence de valeurs déclarées et sans justification particulière.

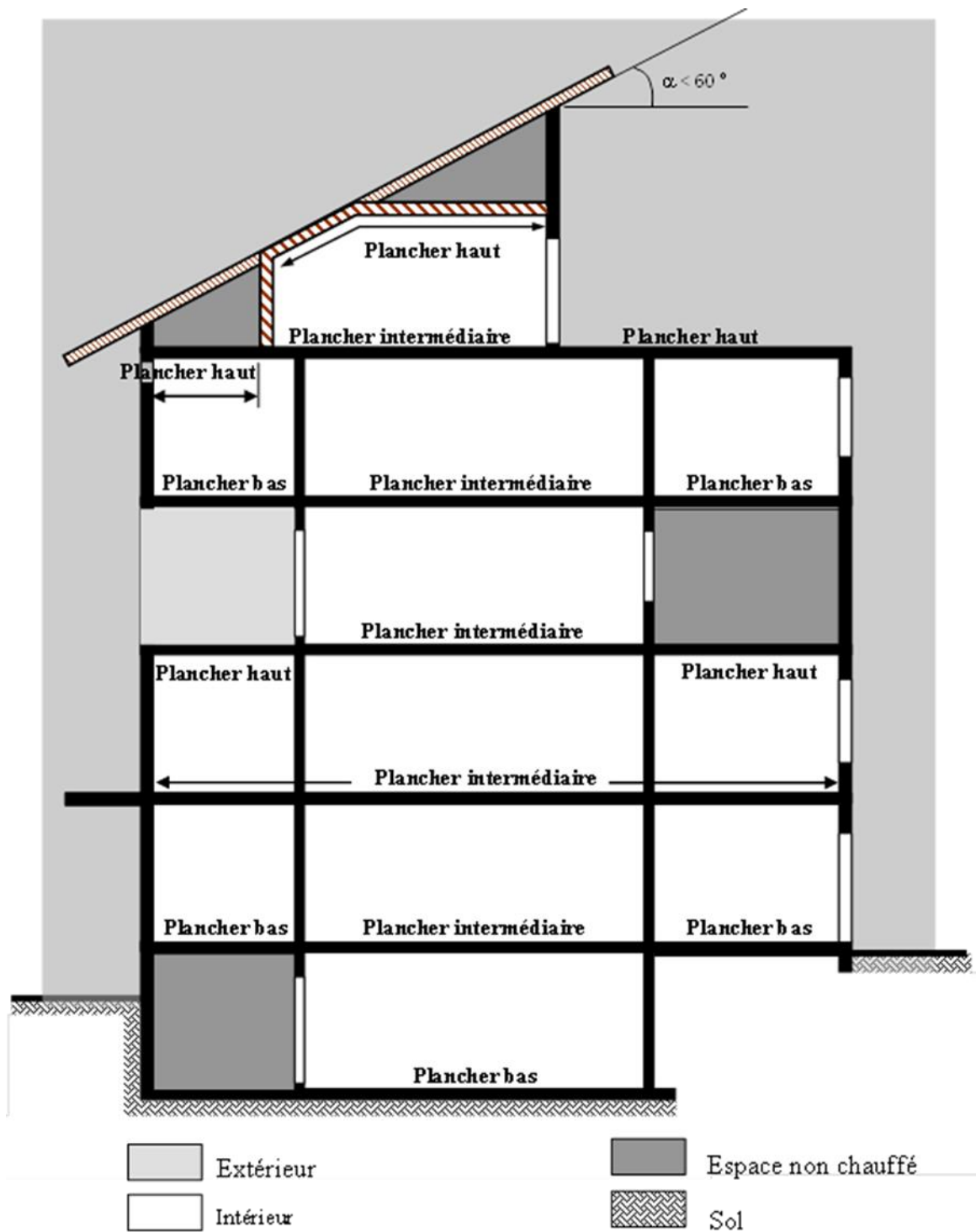


Figure 1 - planchers bas, intermédiaires et hauts

1.1.4.2 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 |
| I, L | Longueur, largeur, linéaire | m |
| 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 |
| SREF | Surface de Référence | m ² |

1.1.4.3 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 |

1.2 Détermination des caractéristiques thermiques utiles

Les caractéristiques thermiques utiles, à utiliser comme données d'entrée au calcul des transferts de chaleur par transmission à travers l'enveloppe du bâtiment sont les coefficients U et S pour les parois opaques, U, S et TL pour les parois vitrées, Ψ et S pour les ponts thermiques des liaisons entre paroi

Elles sont déterminées d'après les fascicules parois vitrées, parois opaques et ponts thermiques des règles Th-bât.

Les conductivités thermiques utiles des matériaux et produits, nécessaires au calcul des coefficients de transmissions surfaciques et linéiques sont déterminées d'après le fascicule « Matériaux ».

En l'absence de caractéristiques thermiques déclarées dans le cadre du marquage CE, les coefficients de transmission thermique des parois fournis dans les documents d'avis technique sont réputés être des caractéristiques thermiques utiles.

1.3 Conventions

1.3.1 TEMPERATURE ET HUMIDITE DES MATERIAUX

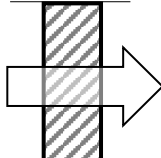
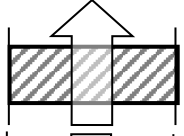
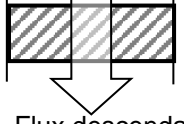
Les conductivités thermiques des matériaux et les caractéristiques thermiques des éléments de construction sont définies pour une température moyenne de 10°C.

Les conventions d'humidité des matériaux sont définies au fascicule « matériaux ».

1.3.2 RESISTANCES THERMIQUES SUPERFICIELLES

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

Tableau 1 - Valeurs par défaut des résistances thermiques superficielles

| Paroi donnant sur : - l'extérieur - un passage ouvert - un local ouvert ⁽¹⁾ | Rsi m ² .K/W | Rse ⁽²⁾ m ² .K/W | Rsi + Rse m ² .K/W |
|--|----------------------------|---|----------------------------------|
| Paroi verticale (Inclinaison > 60°) Flux horizontal  | 0.13 | 0.04 | 0.17 |
| Paroi Horizontale (Inclinaison < 60°) Flux ascendant  Flux descendant ⁽³⁾  | 0.10 | 0.04 | 0.14 |
| | 0.17 | 0.04 | 0.21 |

- (1) 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 m²/m³. Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.
- (2) Si la paroi donne sur un autre local non chauffé, un comble ou un vide sanitaire, R_{si} s'applique des deux côtés
- (3) Dans le cas d'un plancher intégrant un système de chauffage, cette convention reste valable
- Pour plus de précisions sur les résistances superficielles, se reporter au fascicule « Parois opaques ».

1.3.3 PAROIS DEPERDITIVES

1.3.3.1 Règles générales

Les parois déperditives à prendre en compte pour les calculs sont les parois opaques, vitrées ou translucides séparant le volume chauffé² 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 non chauffés (selon conventions § 1.3.3.2), Dans ce cas là les portes et les ponts thermiques de liaisons associés à ces parois peuvent être négligés.
- 2- Les parois isolées et les portes d'accès des cages d'ascenseurs situés en partie centrale donnant sur des locaux chauffés ou considérés comme tels, lorsque les parois lourdes de ces cages d'ascenseurs donnant sur l'extérieur ou un local non chauffé sont isolées y compris l'édicule, la fosse, les gaines ventilées. Dans le cas contraire, la cage d'ascenseur devra être prise en compte conformément au §1.3.3.2.
- 3- Les portes d'accès des locaux chauffés aux locaux commerciaux, aux locaux recevant du public

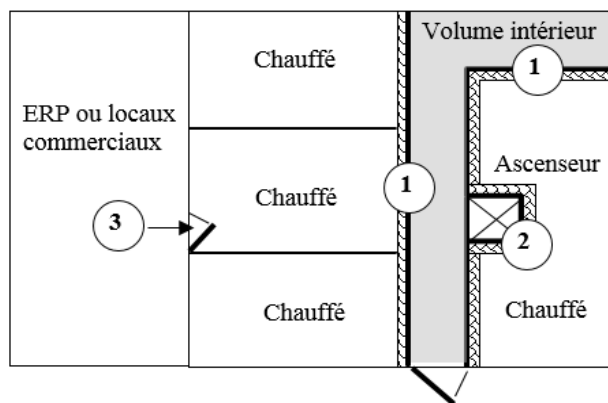


Figure 2 - parois non prises en compte dans le calcul de U_{bat}

² Le volume chauffé du bâtiment est composé :

- Des locaux ou volumes fermés chauffés à une température supérieure à 12 °C en période d'occupation,
- Des volumes intérieurs assimilés chauffés selon les conventions du §3.3.2

1.3.3.2 *Volume intérieur*

Un « volume intérieur » est un local horizontal ou vertical sans émetteurs de chaleur, 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 (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) et dont le linéaire donnant sur l'extérieur ou sur des locaux non chauffés ($c + d$) est inférieure à celui donnant sur des locaux du volume chauffé ($a + b$) (cf. Figure 3).

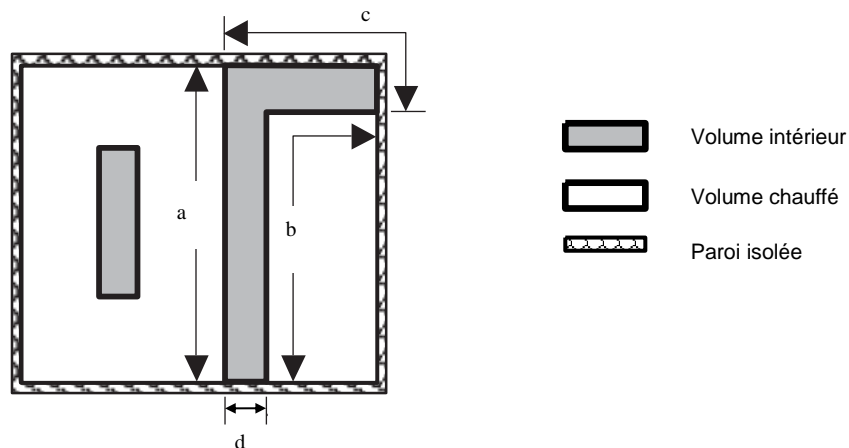


Figure 3 - Volumes intérieurs

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.

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.

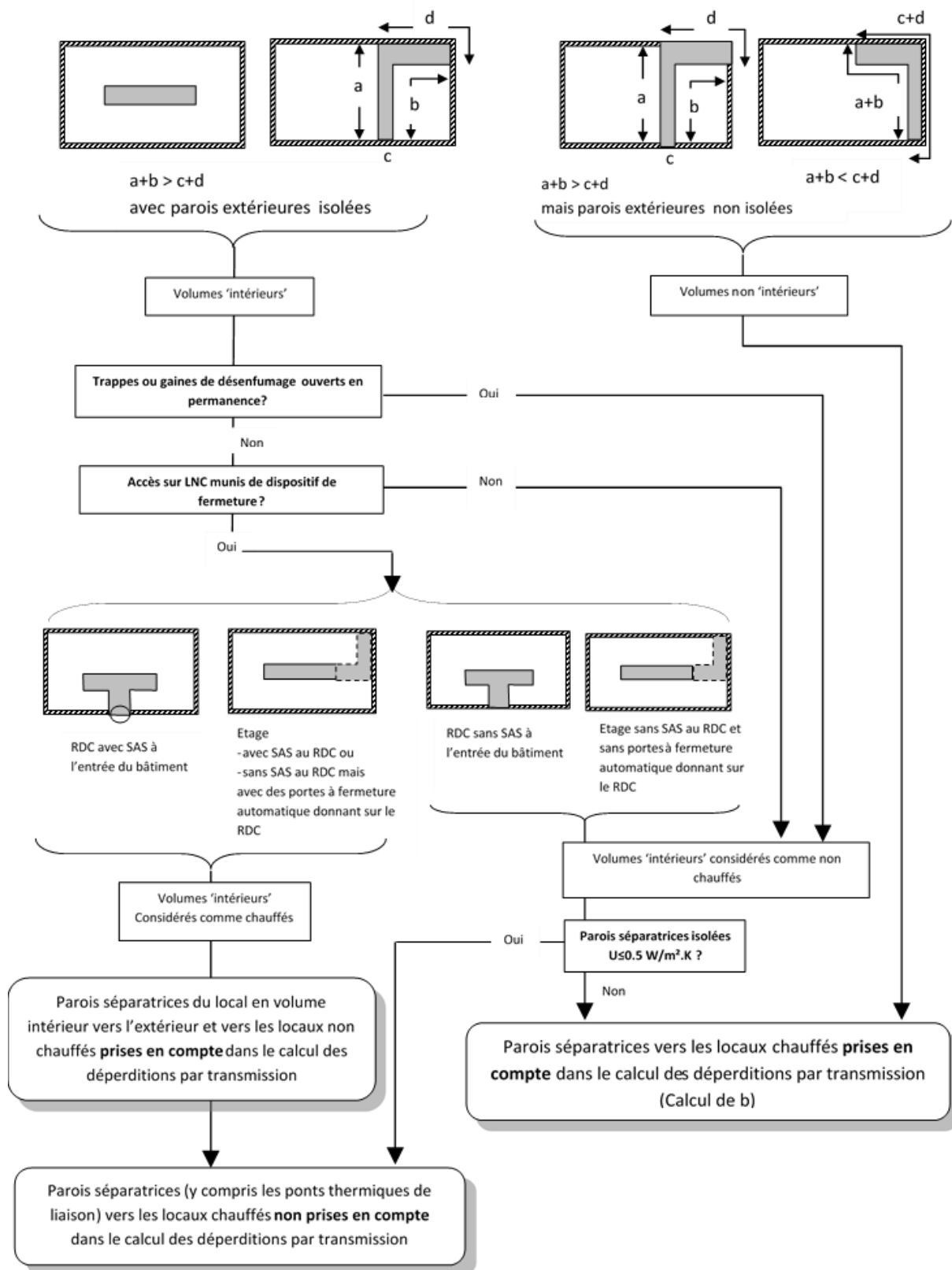


Figure 4 – Prise en compte des volumes intérieurs

1.3.4 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.

Les ponts thermiques des liaisons entre deux ou plusieurs parois dont l'une au moins donne sur l'extérieur ou est en contact avec le sol, sont considérés comme donnant sur l'extérieur.

1.3.5 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 :

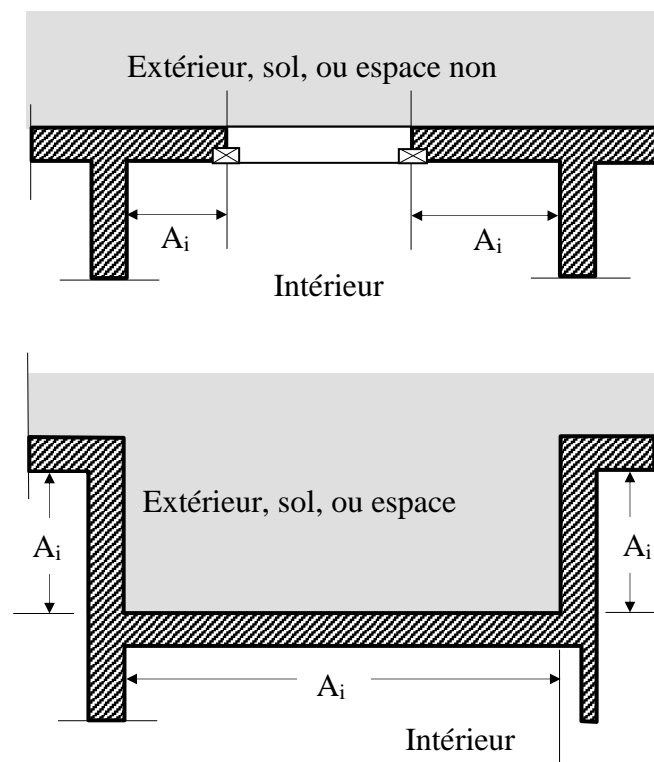


Figure 5 - Cas des décrochements, angles rentrants, baies

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

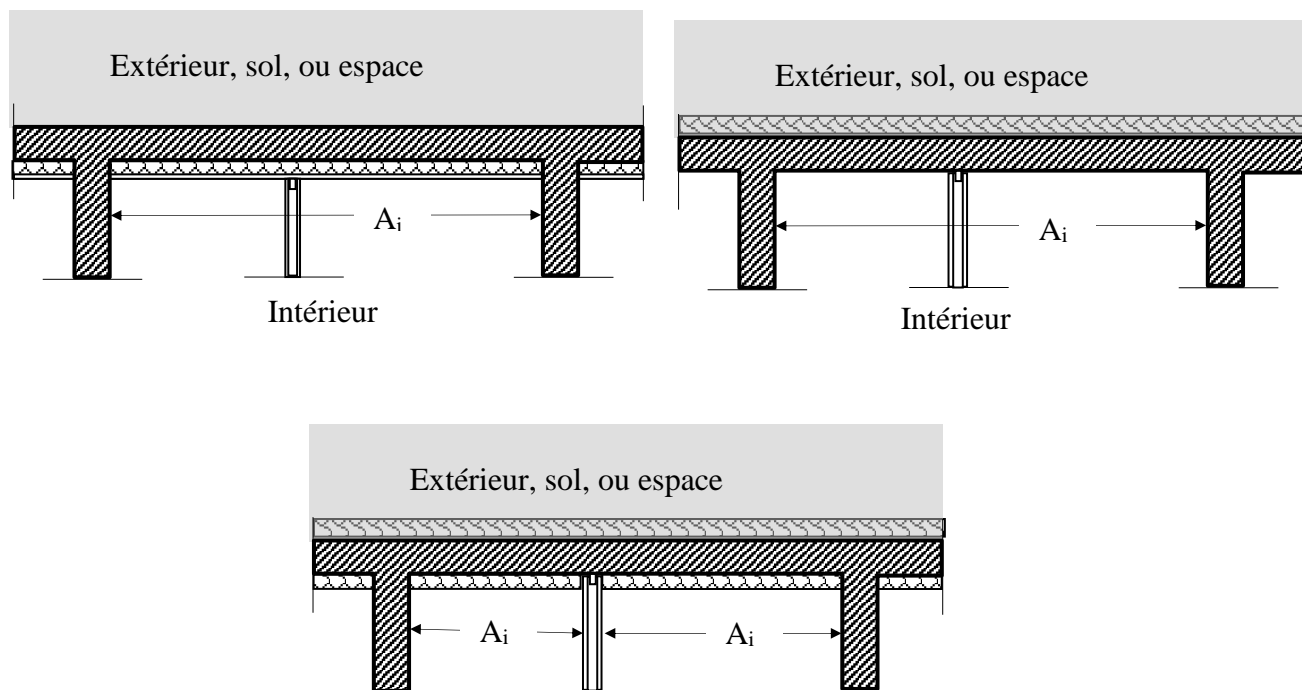


Figure 6 - Cas des cloisons légères verticales

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 :

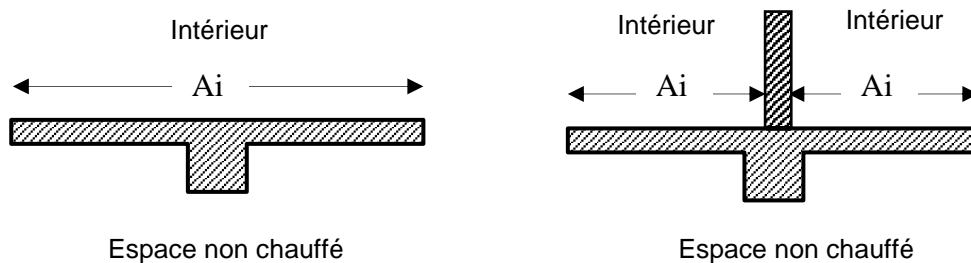
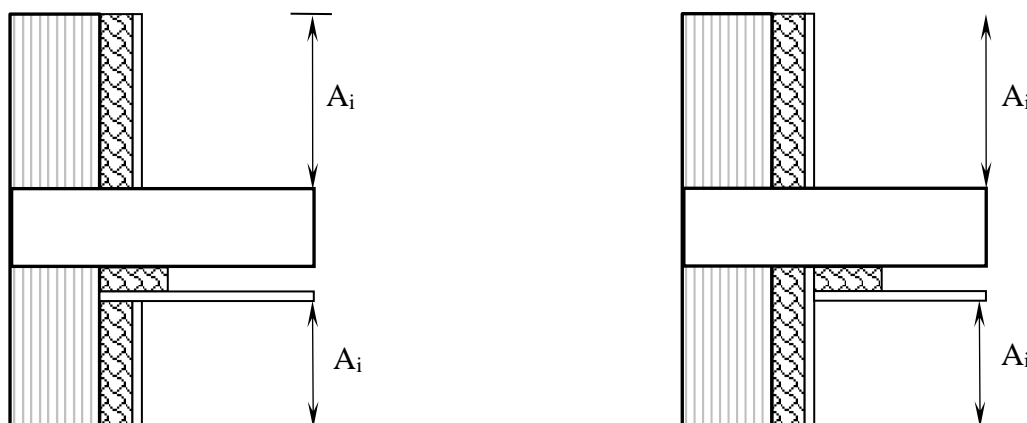


Figure 7 - Cas des planchers bas / refends

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.



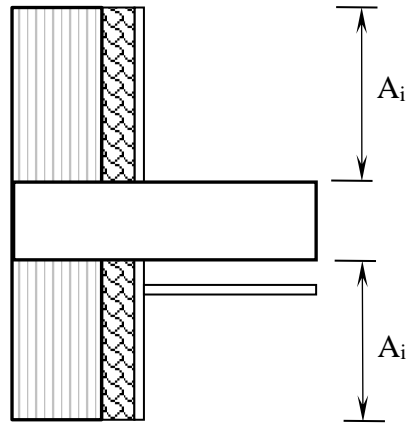
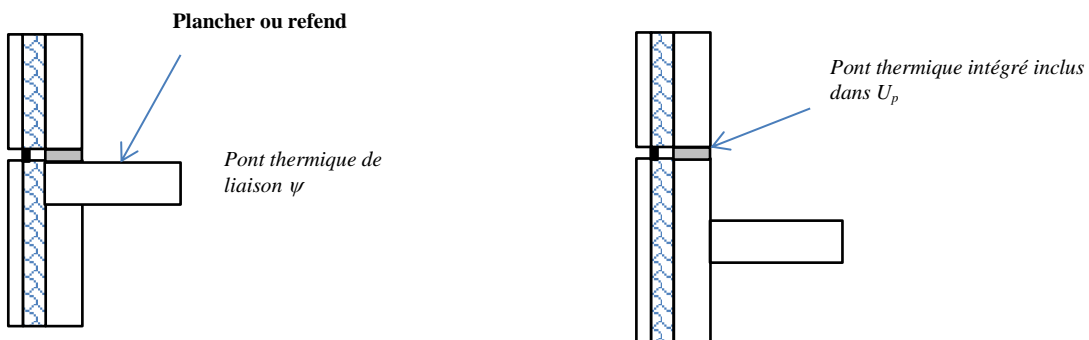


Figure 8 - Exemples de détermination de la dimension intérieure pour des planchers intermédiaires avec faux plafond

1.3.6 CONVENTION RELATIVE AU CAS DES PANNEAUX SANDWICHES LOURDS

Les panneaux sandwichs lourds sont des panneaux de façade à voile béton.

Le pont thermique situé au niveau d'un joint vertical ou horizontal entre panneaux doit être comptabilisé comme un pont thermique de liaison lorsqu'il est situé à la jonction avec une paroi (mur ou refend). Dans le cas contraire il doit être considéré comme un pont thermique intégré comptabilisé dans le coefficient de transmission surfacique U_p de la paroi. La figure ci-dessous illustre cette convention.



Indicateurs complémentaires

1.4.1 RATION DE TRANSMISSION THERMIQUE LINEIQUE MOYEN GLOBAL

Le ratio de transmission thermique linéique moyen global des ponts thermiques, nommé Ratio Ψ , traduit les déperditions par transmission, à travers tous les ponts thermiques des liaisons. Il s'exprime en Watt par m² de surface SRT et par degré Kelvin d'écart de température. Le Ratio Ψ est calculé d'après la formule ci-après et doit être exprimé avec deux chiffres significatifs :

$$Ratio_{\Psi} = \sum \frac{\Psi \times b \times l}{SREF} \quad (1)$$

Avec

Ψ Le coefficient de transmission linéique du pont thermique de liaison entre au moins deux parois dont l'une au moins est en contact avec l'extérieur ou avec une ambiance non chauffée. Il est déterminé d'après le fascicule ponts thermiques des présentes règles et s'exprime en W/(m.K).

l le linéaire du pont thermique de liaison correspondant, en m.

b Le coefficient de réduction des déperditions caractérisant l'ambiance non chauffée en contact avec le pont thermique.

S_{Ref} Surface de référence du bâtiment, telle que définie au X du chapitre I de l'annexe de l'article R. 172-4 du code de la construction et de l'habitation.

Pour un pont thermique lié à au moins une paroi en contact avec l'extérieur ou donnant sur un vide sanitaire ou sur un sous sol non chauffé, prendre $b=1$. Pour les autres cas, b doit être déterminé selon la partie 0 du présent fascicule généralité.

1.4.2 COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE Ψ_9

Ψ_9 est le coefficient de transmission thermique linéique moyen des liaisons entre les planchers intermédiaires et les murs donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé.

Il se calcule d'après la formule ci-après et doit être exprimé avec deux chiffres significatifs :

$$\Psi_9 = \frac{\sum \Psi \times b \times l}{\sum l} \quad (2)$$

en W/m.K

Avec

Ψ le coefficient de transmission linéique du pont thermique de liaison entre un plancher intermédiaire et un mur. Il est déterminé d'après le fascicule ponts thermiques des présentes règles et s'exprime en W/(m.K).

b Le coefficient de réduction des déperditions caractérisant l'ambiance non chauffée en contact avec le pont thermique.

l le linéaire du pont thermique de liaison correspondant, en m.

Pour un pont thermique lié à au moins une paroi en contact avec l'extérieur ou donnant sur un vide sanitaire ou sur un sous sol non chauffé, prendre $b=1$. Pour les autres cas, b doit être déterminé selon la partie 1.5 du présent fascicule généralité.

1.4.3 U_{BAT}

Le coefficient $U_{bât}$ représente la valeur moyenne de la déperdition par transmission surfacique exprimée en $W/(m^2.K)$. Il se calcule d'après la formule suivante :

$$U_{bât} = \frac{\sum_i A_i U_i (b_i) + \sum_j l_j \psi_j (b_j) + \sum_k \chi_k (b_k)}{\sum A_i} \quad (3)$$

Où

A_i est l'aire intérieure de la paroi déperditive i du bâtiment, en m^2 . (Les dimensions des fenêtres et des portes doivent être prises égales à celles de l'ouverture dans les parois).

U_i est le coefficient de transmission thermique de la paroi déperditive i du bâtiment déterminé selon les fascicules « Parois opaques » et « parois vitrées », il s'exprime en $W/(m^2.K)$.

b est un coefficient de réduction des déperditions, respectivement à travers les composants i , j et k .

Pour une paroi en contact avec le sol ou donnant sur l'extérieur, sur un vide sanitaire ou sur un sous sol non chauffé, prendre $b = 1$. Pour les autres parois, b doit être déterminé selon §1.5.

l_j est le linéaire du pont thermique de la liaison j , en m .

Ψ_j est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique de la liaison j , déterminé selon le fascicule « Ponts thermiques », en $W/(m.K)$ à l'exception des ponts thermiques intermédiaires des parois en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé lorsque ceux-ci sont déjà pris en compte dans le calcul de U_e . En effet, ces derniers doivent être pris en compte dans le calcul de U_e (exemple : liaisons entre refends ou poutres avec le plancher bas).

χ_k est le coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique tridimensionnel k , calculé selon le fascicule « Ponts thermiques », en W/K à l'exception des ponts thermiques ponctuels induits par les poteaux dans le cas des plancher bas en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire ou sur un sous sol non chauffé lorsque ceux-ci sont déjà pris en compte dans le calcul de U_e .

Les ponts thermiques intégrés (ossatures filantes, fixations ponctuelles, etc...), doivent être intégrés dans le coefficient surfacique intrinsèque U_p de la paroi comme décrit dans les fascicules "parois opaques" et « parois vitrées ».

1.5 Coefficient de réduction de température

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.

1.5.1 CALCUL

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

$$b = \frac{D_{ue}}{D_{ue} + D_{iu}} \quad (4)$$

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 :

$$D_{ue} = H_{ue} + D_{V, ue} \quad \text{et} \quad D_{iu} = H_{iu} + D_{V, iu} \quad (5)$$

Avec

$$D_{V, ue} = 0,33 Q_{ue} \quad \text{et} \quad D_{V, iu} = 0,33 Q_{iu} \quad (6)$$

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.

$$D_{V, ue} \text{ peut également s'écrire sous la forme : } D_{V, ue} = U_{V, ue} A_{ue} \quad (7)$$

Où

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.

$$U_{V, ue} = 0.34 q_{ue}$$

Où

q_{ue} est le débit d'air par mètre carré de paroi, exprimé en (m³/h)/m²

Note : Le fascicule « 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.

1.5.2 VALEURS PAR DEFAUT

1.5.2.1 Coefficient *b*

Le coefficient *b* doit être déterminé de préférence d'après la formule 4. Cependant et en absence de toute justification particulière, des valeurs par défaut sont données aux tableaux 2 à 5 et cela en fonction du rapport des surfaces A_{iu}/A_{ue} et du « coefficient surfacique équivalent » $U_{V, ue}$.

| | Parois séparant le local non chauffé de l'extérieur A_{ue} | Parois séparant l'intérieur du local non chauffé A_{iu} |
|-----------|--|---|
| Tableau 2 | Non isolées | Isolées |
| Tableau 3 | | Non |
| Tableau 4 | Isolées | Non |
| Tableau 5 | | Isolées |

Dans les tableaux 2 à 5 : La surface A_{ue} des vérandas doit être considérée comme non isolée

l_c désigne un local chauffé

l_{nc} désigne un local non chauffé

Tableau 2

A_{iu} : isolée

A_{ue} : non isolée



| A_{iu}/A_{ue} | $U_{V, ue}$ W/(m ² .K) | | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 0,0 | 0,3 | 1,5 | 3,0 | 7,00 | 9,00 |
| $\leq 0,25$ | 0,95 | 0,95 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| $0,25 < \leq 0,50$ | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 1,00 | 1,00 |
| $0,50 < \leq 0,75$ | 0,90 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 1,00 |
| $0,75 < \leq 1,00$ | 0,85 | 0,90 | 0,90 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| $1,00 < \leq 1,25$ | 0,85 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,95 | 0,95 |
| $1,25 < \leq 2,00$ | 0,80 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,90 | 0,95 |
| $2,00 < \leq 2,50$ | 0,75 | 0,80 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,90 |
| $2,50 < \leq 3,00$ | 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,90 |
| $3,00 < \leq 3,50$ | 0,65 | 0,75 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 |
| $3,50 < \leq 4,00$ | 0,65 | 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 |
| $4,00 < \leq 6,00$ | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,80 | 0,85 |
| $6,00 < \leq 8,00$ | 0,45 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,75 | 0,80 |
| $8,00 < \leq 10,0$ | 0,40 | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,75 |
| $10,0 < \leq 25,0$ | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,60 | 0,70 |
| $25,0 < \leq 50,0$ | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,45 | 0,50 |
| $50,0 <$ | 0,10 | 0,15 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 |

Tableau 3

A_{iu} : non isolée

A_{ue} : non isolée



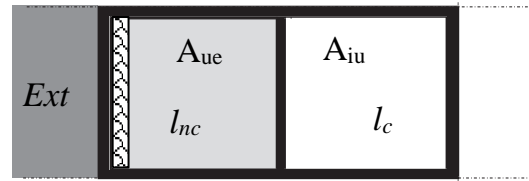
| A_{iu}/A_{ue} | $U_{v, ue}$ W/(m ² .K) | | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 0,0 | 0,3 | 1,5 | 3,0 | 7,00 | 9,00 |
| $\leq 0,25$ | 0,80 | 0,85 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 0,95 |
| $0,25 < \leq 0,50$ | 0,65 | 0,75 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 |
| $0,50 < \leq 0,75$ | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,85 |
| $0,75 < \leq 1,00$ | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,70 | 0,75 | 0,80 |
| $1,00 < \leq 1,25$ | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,80 |
| $1,25 < \leq 2,00$ | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,60 | 0,70 |
| $2,00 < \leq 2,50$ | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,55 | 0,65 |
| $2,50 < \leq 3,00$ | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,50 | 0,60 |
| $3,00 < \leq 3,50$ | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,55 |
| $3,50 < \leq 4,00$ | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,45 | 0,50 |
| $4,00 < \leq 6,00$ | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,25 | 0,35 | 0,40 |
| $6,00 < \leq 8,00$ | 0,10 | 0,15 | 0,15 | 0,20 | 0,30 | 0,35 |
| $8,00 < \leq 10,0$ | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 |
| $10,0 < \leq 25,0$ | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 |
| $25,0 < \leq 50,0$ | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,15 |
| $50,0 <$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |

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

Tableau 4

A_{iu} : non isolée

A_{ue} : isolée

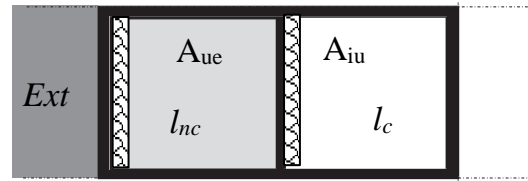


| A_{iu}/A_{ue} | $U_{v, ue}$ W/(m ² .K) | | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 0,0 | 0,3 | 1,5 | 3,0 | 7,00 | 9,00 |
| $\leq 0,25$ | 0,35 | 0,50 | 0,60 | 0,65 | 0,75 | 0,85 |
| $0,25 < \leq 0,50$ | 0,20 | 0,35 | 0,45 | 0,50 | 0,60 | 0,70 |
| $0,50 < \leq 0,75$ | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,40 | 0,50 | 0,65 |
| $0,75 < \leq 1,00$ | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,35 | 0,40 | 0,55 |
| $1,00 < \leq 1,25$ | 0,10 | 0,15 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,50 |
| $1,25 < \leq 2,00$ | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,40 |
| $2,00 < \leq 2,50$ | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,15 | 0,20 | 0,35 |
| $2,50 < \leq 3,00$ | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,30 |
| $3,00 < \leq 3,50$ | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,25 |
| $3,50 < \leq 4,00$ | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,25 |
| $4,00 < \leq 6,00$ | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,20 |
| $6,00 < \leq 8,00$ | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,15 |
| $8,00 < \leq 10,0$ | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,10 |
| $10,0 < \leq 25,0$ | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,10 |
| $25,0 < \leq 50,0$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 |
| $50,0 <$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tableau 5

A_{iu} : isolée

A_{ue} : isolée



| A_{iu}/A_{ue} | $U_{v, ue}$ W/(m ² .K) | | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 0,0 | 0,3 | 1,5 | 3,0 | 7,00 | 9,00 |
| $\leq 0,25$ | 0,80 | 0,90 | 0,90 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| $0,25 < \leq 0,50$ | 0,65 | 0,80 | 0,85 | 0,85 | 0,90 | 0,95 |
| $0,50 < \leq 0,75$ | 0,55 | 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 |
| $0,75 < \leq 1,00$ | 0,50 | 0,65 | 0,70 | 0,75 | 0,85 | 0,90 |
| $1,00 < \leq 1,25$ | 0,45 | 0,60 | 0,65 | 0,75 | 0,80 | 0,90 |
| $1,25 < \leq 2,00$ | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,80 |
| $2,00 < \leq 2,50$ | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,55 | 0,65 | 0,80 |
| $2,50 < \leq 3,00$ | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,60 | 0,75 |
| $3,00 < \leq 3,50$ | 0,20 | 0,35 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 |
| $3,50 < \leq 4,00$ | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,45 | 0,55 | 0,70 |
| $4,00 < \leq 6,00$ | 0,15 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,45 | 0,60 |
| $6,00 < \leq 8,00$ | 0,10 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,40 | 0,55 |
| $8,00 < \leq 10,0$ | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,35 | 0,45 |
| $10,0 < \leq 25,0$ | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,40 |
| $25,0 < \leq 50,0$ | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,25 |
| $50,0 <$ | 0,00 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,10 |

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

1.5.2.2 Coefficient $U_{v, ue}$

En absence d'une valeur de coefficient $U_{v, ue}$, calculée selon le §1.5.1, les valeurs par défauts ci-dessous, données par type de local non chauffé, doivent être utilisées.

Tableau 6 : valeurs par défaut de $U_{v, ue}$

| Locaux non chauffés types | $U_{v, ue}$ W/(m.K) |
|--|--|
| Maison individuelle | |
| Garage | 3 |
| Cellier | 3 |
| Véranda | 3 |
| Comble | |
| – fortement ventilé $A_o / A_c > 0,003$ | 9 |
| – faiblement ventilé $0,0003 < A_o / A_c < 0,003$ | 3 |
| – très faiblement ventilé $0,0003 > A_o / A_c$ | 0,3 |
| Logement collectif | |
| Circulations communes | |
| – sans ouverture directe sur l'extérieur | 0,0 |
| – avec ouverture directe sur l'extérieur | 0,3 |
| – avec bouche ou gaine de désenfumage, ouverte en permanence | 3 |
| – halls d'entrée | 3 ⁽¹⁾ ou 0,3 ⁽²⁾ |
| – garage privé collectif | 3 |
| Autres dépendances | 3 |
| Comble | |
| – fortement ventilé $A_o / A_c > 0,003$ | 9 |
| – faiblement ventilé $0,0003 < A_o / A_c < 0,003$ | 3 |
| – très faiblement ventilé $0,0003 > A_o / A_c$ | 0,3 |
| Tertiaire | |
| Locaux fortement ventilés (parking public, hall de gare, etc.) | 9 |
| Parking privé | 3 |
| Autres dépendances | 3 |
| Circulations communes | |
| – sans ouverture directe sur l'extérieur | 0,0 |
| – avec ouverture directe sur l'extérieur | 0,3 |
| – avec bouche ou gaine de désenfumage, ouverte en permanence | 3 |
| – halls d'entrée | 3 ⁽¹⁾ ou 0,3 ⁽²⁾ |

| | |
|--|---|
| Bâtiments adjacents chauffés par intermittence autres que d'habitation ($b = 0,2$) | – |
| 1. Portes d'accès sans dispositif de fermeture automatique 2. Portes d'accès avec dispositif de fermeture automatique | |

Où

A_o est la surface totale des orifices de ventilation du comble, en m^2 ,

A_c est la surface du comble, en m^2 .

2. FASCICULE « MATERIAUX »

2.1 Introduction

Ce fascicule 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. À 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.

2.1.1 *REFERENCES NORMATIVES*

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

Normes d'essais

| | |
|------------------------|---|
| 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 12664 | Performance thermique des matériaux et produits pour le bâtiment – détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique – produits secs et humides de moyenne et basse résistance thermique. |
| NF EN ISO 12572 | Performances thermiques des matériaux et produits pour le bâtiment. Détermination des propriétés de transmission de la vapeur d'eau - Méthode de la coupelle. |
| NF EN ISO 8990 | Isolation thermique – Détermination des propriétés de transmission thermique en régime stationnaire – Méthodes à la boîte chaude gardée et calibrée. |

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

Autres normes

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.

2.1.2 TERMES ET DEFINITIONS, SYMBOLES ET UNITES

2.1.2.1 Symboles et unités

Masse volumique sèche ρ (en kg/m³) : quotient de la masse d'un matériau apparente, à l'état sec (1)³ 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 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.

2.1.2.2 Définitions

Caractéristique thermique utile : caractéristique thermique représentative du comportement thermique des parois, éléments ou composants, une fois incorporés 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 et correspondre aux 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 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 : 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 formulé conformément à l'arrêté du 21 mars 2012 relatif à la commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application sur des procédés matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction, délivré en vue d'établir l'aptitude à l'emploi des procédés, matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Evaluation Technique Européen (ETE) : appréciation technique favorable de l'aptitude d'un produit à l'usage prévu, fondée sur la satisfaction des exigences essentielles prévues pour les ouvrages dans lesquels le produit doit être utilisé (directive 89/106/CEE, article 8). Il est délivré par un Organisme d'Evaluation Technique (OET), membre de l'EOTA (European Organisation for Technical Approvals), habilité et désigné par son État membre.

Certification : on entend par certification toute activité par laquelle un organisme tierce partie accrédité COFRAC, ou un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux couvrant l'activité de certification, atteste qu'un produit, un service, ou une combinaison de produits et

³ Sauf spécification particulière, l'état sec est défini conventionnellement comme l'état du matériau séché à 70 °C ± 5 °C avec de l'air pris dans une ambiance à 23 °C ± 2 °C et 50 ± 5 % d'humidité relative.

de services est conforme à des caractéristiques décrites dans un référentiel de certification reconnu par tous les acteurs et rendu public. La certification est régie par les articles R-433-1 à R 433-2 et L 433-3 à L 433-11 du code de la consommation.

2.1.3 CARACTERISTIQUES THERMIQUES

2.1.3.1 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) :

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

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)⁴ ;
- 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 7 selon l'origine de la valeur thermique déclarée :

Tableau 7 - Coefficient de sécurité F_R selon l'origine de la valeur déclarée

| F_R | |
|--|--|
| Marquage « CE » de système 1+ ^(*) ou autres systèmes équivalents | Marquage « CE » autres systèmes ^(*) |
| 1 | 1,15 |
| <p>(*) 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.</p> | |

⁴ 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 fascicule 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 ± 5 °C avec de l'air pris dans une ambiance à 23 °C ± 2 °C et 50 % ± 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 ± 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.

2.1.3.2 *Produits réfléchissants opaques*

Les performances thermiques intrinsèques des produits réfléchissants opaques sont données soit dans un document d'Evaluation Technique Européen, soit dans un Avis Technique ou équivalent, ou si un tel avis ou évaluation n'existe pas, par des valeurs par défaut données dans le fascicule paroi opaque.

2.1.3.3 *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 8 si la valeur réelle n'est pas connue ;
- 2,0 W/(m.K) en absence de toute autre information.

Tableau 8 - Conductivité thermique λ

| Description | Conductivité thermique λ |
|--------------------|--|
| Argile ou limon | 1,5 |
| Sable ou gravier | 2,0 |
| Roche homogène | 3,5 |

2.1.4 *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 « FASCICULE « PAROIS OPAQUES » ».

2.2 Valeurs par défaut

2.2.1 PIERRES

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

2.2.1.1 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.

2.2.1.2 Roches volcaniques

| Matériaux ou application | ρ en kg/m ³ | λ en W/(m.K) | C_p en J/(kg.K) | μ | |
|--|--------------------------------|----------------------|-------------------|--------|--------|
| | | | | 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 |

2.2.1.3 Pierres calcaires

| Matériaux ou application | ρ en kg/m ³ | λ en W/(m.K) | C_p en J/(kg.K) | μ | |
|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------|--------|--------|
| | | | | 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 |

2.2.1.4 Grès

| Matériaux ou application | ρ en kg/m ³ | λ en W/(m.K) | C_p en J/(kg.K) | μ | |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------|-------|--------|
| | | | | 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 |

2.2.1.5 *Silex, meulières et ponces*

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | 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 |

2.2.2 *BETONS*

2.2.2.1 *Bétons de granulats courants siliceux, silico-calcaires et calcaires*

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

2.2.2.1.1 *Béton plein*

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | 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 |

2.2.2.1.2 *Béton caverneux*

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | 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 |

2.2.2.1.3 *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) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Avec 1 < % d'acier \leq 2 | $2\ 300 < \rho \leq 2\ 400$ | 2,3 | 1 000 | 130 | 80 |
| Avec % 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 2.2.2.1.1 ci-dessus (Béton plein).

2.2.2.2 Bétons de granulats courants de laitiers de hauts fourneaux

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

2.2.2.2.1 Béton plein

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 |

2.2.2.2.2 Béton caverneux

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 |

2.2.2.3 Bétons de granulats légers

2.2.2.3.1 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) | (C_p) 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 |
| | $1\ 200 \leq \rho < 1\ 400$ | 0,44 | 1 000 | 30 | 20 |
| – sans éléments fins de sable | $1\ 000 \leq \rho \leq 1\ 200$ | 0,35 | 1 000 | 30 | 20 |

2.2.2.3.2 Béton de cendres volantes frittées

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 |

2.2.2.3.3 Béton de ponce naturelle

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 |

2.2.2.3.4 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) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Se | 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 – avec sable de rivière et sable léger | 1 600 < ρ ≤ 1 800 | 1,05 | 1 000 | 8 | 6 |
| | 1 400 ≤ ρ ≤ 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 – avec sable léger, sans sable de rivière | 1 200 < ρ ≤ 1 400 | 0,7 | 1 000 | 6 | 4 |
| | 1 000 ρ ≤ 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 – sans sable (léger ou de rivière) et ne nécessitant qu'un faible dosage en ciment | 800 < ρ ≤ 1 000 | 0,33 | 1 000 | 6 | 4 |
| | 600 ≤ ρ ≤ 800 | 0,25 | 1 000 | 6 | 4 |
| | ρ ≤ 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 NF P 18-210) | 1 200 ≤ ρ < 1 400 | 0,70 | 1 000 | 6 | 4 |

2.2.2.3.4.1 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) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|---|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Se | 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 ≤ ρ < 400 | 0,20 | 1 200 | 3 | 2 |
| | 400 ≤ ρ < 600 | 0,28 | 1 200 | 3 | 2 |
| | 600 ≤ ρ < 800 | 0,36 | 1 200 | 3 | 2 |

2.2.2.4 Bétons de granulats très légers

2.2.2.4.1 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) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Dosage : 3/1 | 600 < ρ ≤ 800 | 0,31 | 1 000 | 15 | 10 |
| Dosage : 6/1 | 400 ≤ ρ ≤ 600 | 0,24 | 1 000 | 15 | 10 |

2.2.2.4.2 Plaques de béton de vermiculite fabriquées en usine

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | 400 ≤ ρ ≤ 600 | 0,19 | 1 000 | 15 | 10 |

2.2.2.4.3 Bétons cellulaires traités à l'autoclave

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

2.2.2.5 Bétons de bois

2.2.2.5.1 Béton de copeaux de bois (conforme aux documents d'Avis Technique)

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

2.2.2.5.2 Autre béton de copeaux de bois

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|---|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | 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 | | |

2.2.2.5.3 Panneaux de laine de bois (fibragglo)

Se référer au paragraphe 2.2.5.3 de ce fascicule.

2.2.3 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).

2.2.3.1 Plâtres sans granulats

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 |
| | $\rho < 750$ | 0,21 | 1 000 | 10 | 4 |

(*) valeur par défaut à considérer en l'absence d'une connaissance précise de la masse volumique

2.2.3.2 Plâtre avec granulats légers ou fibres minérales

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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) : – 1 volume pour un volume de plâtre – 2 volumes pour un volume de plâtre | $600 \leq \rho \leq 900$ | 0,30 | 1 000 | 10 | 6 |
| | $500 \leq \rho \leq 600$ | 0,18 | 1 000 | 10 | 6 |

2.2.4 TERRE CUITE

Terre cuite utilisée dans les éléments de maçonnerie.

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | 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 |

2.2.5 VEGETAUX

On caractérise les bois par leur masse volumique normale moyenne t_n , c'est-à-dire avec une teneur en humidité t_h 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.

2.2.5.1 Bois

On donne dans les tableaux ci-après, la conductivité thermique du bois en fonction de l'essence ou de la masse volumique.

2.2.5.1.1 *Essence de Bois*

Lorsque l'essence de bois est connue lors de l'étude thermique du projet de construction, il sera préférentiellement retenu la valeur de conductivité thermique associée au nom de l'essence.

| Matériaux ou application | Conductivité thermique utile (λ) en W/(m.K) |
|---|---|
| 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 |

2.2.5.1.2 *Masse volumique*

Dans le cas où l'essence de bois n'est pas connue, on pourra utiliser les valeurs de conductivité thermique liées à la masse volumique moyenne ρ_n .

| 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 $\rho_n > 1\ 000\ \text{kg/m}^3$ | $\rho > 870$ | 0,29 | 1 600 | 200 | 50 |
| Feuillus lourds $865 < \rho_n \leq 1\ 000\ \text{kg/m}^3$ | $750 < \rho \leq 870$ | 0,23 | 1 600 | 200 | 50 |
| Feuillus mi-lourds $650 < \rho_n \leq 865\ \text{kg/m}^3$ | $565 < \rho \leq 750$ | 0,18 | 1 600 | 200 | 50 |
| Feuillus légers $500 < \rho_n \leq 650\ \text{kg/m}^3$ | $435 < \rho \leq 565$ | 0,15 | 1 600 | 200 | 50 |
| Feuillus très légers $230 < \rho_n \leq 500\ \text{kg/m}^3$ 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 $\rho_n > 700\ \text{kg/m}^3$ | $\rho > 610$ | 0,23 | 1 600 | 50 | 20 |
| Résineux lourds $600 < \rho_n \leq 700\ \text{kg/m}^3$ | $520 < \rho \leq 610$ | 0,18 | 1 600 | 50 | 20 |
| Résineux mi-lourds $500 < \rho_n \leq 600\ \text{kg/m}^3$ | $435 < \rho \leq 520$ | 0,15 | 1 600 | 50 | 20 |
| Résineux légers $\rho_n \leq 500\ \text{kg/m}^3$ | $\rho \leq 435$ | 0,13 | 1 600 | 50 | 20 |

2.2.5.2 *Panneaux à base de bois*

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

2.2.5.2.1 *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) | (C_p) 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 |

2.2.5.2.2 *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) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | ρ ≤ 650 | 0,13 | 1 700 | 50 | 30 |

2.2.5.2.3 *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) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | ρ ≤ 1 200 | 0,23 | 1 500 | 50 | 30 |

2.2.5.2.4 *Panneaux de particules*

Définis selon la norme NF EN 309.

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 |

2.2.5.2.5 *Panneaux de fibres*

Définis selon la norme NF EN 316.

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Voir l'annexe XII du présent arrêté | | | | | |

2.2.5.3 *Panneaux de laine de bois*

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 (WW) | Voir l'annexe XII du présent arrêté | | | | |

2.2.5.4 *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 |
| <ul style="list-style-type: none"> – Comprimé – Expansé pur : se reporter au paragraphe 2.6.3 – Expansé aggloméré au brai ou aux résines synthétiques : se reporter au paragraphe 2.6.3 | Voir l'annexe XII du présent arrêté | | | | |

2.2.5.5 *Paille comprimée*

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Voir l'annexe XII du présent arrêté | | | | | |

2.2.6 MATERIAUX ISOLANTS MANUFACTURES

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 ».

2.2.6.1 Balsa

Se reporter au paragraphe 2.2.5.1 de ce fascicule.

2.2.6.2 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.

2.2.6.2.1 Laines de roches

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

2.2.6.2.2 Laines de verres

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

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

Valeur par défaut pour les produits non visés par les paragraphes 4.3.2.1 du fascicule « Parois opaques » des règles Th-Bat.

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

2.2.6.2.4 Autres laines minérales

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

2.2.6.2.5 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) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | 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 |

2.2.6.3 Liège

Se référer au paragraphe 2.2.5.4 pour les produits de masse volumique supérieure à 250 kg/m³.

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|---|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Expansé pur conforme à la norme NF EN 13170 (ICB) | Voir l'annexe XII du présent arrêté | | | | |
| Expansé aggloméré au brai ou aux résines synthétiques | | | | | |

2.2.6.4 *Matières plastiques alvéolaires*

2.2.6.4.1 *Polystyrène expansé*

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | 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 |
| -Autres plaques moulées à partir de billes | $24 \leq \rho < 29$ | 0,040 | 1 450 | 60 | 60 |
| | $29 \leq \rho < 40$ | 0,039 | 1 450 | 60 | 60 |
| | $40 \leq \rho < 60$ | 0,038 | 1 450 | 60 | 60 |

2.2.6.4.2 *Plaques extrudées conformes à la norme NF EN 13164 (XPS)*

Dans le cas où les produits ci-dessous sont utilisés en isolation inversée, la conductivité thermique utile devra tenir compte de la teneur en eau additionnelle liée à cette mise en œuvre spécifique soit par application du §2.1.3.1 du présent fascicule soit en se reportant aux avis techniques

2.2.6.4.2.1 *Plaques sans gaz occlus autres que l'air et le CO₂*

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Épaisseur \leq 60 mm | $28 \leq \rho \leq 40$ | 0,041 | 1 450 | 150 | 150 |
| Épaisseur $>$ 60 mm | $28 \leq \rho \leq 40$ | 0,046 | 1 450 | 150 | 150 |

2.2.6.4.2.2 *Plaques avec des hydrofluorocarbures HCFC (142b et/ou R22)*

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | $25 \leq \rho \leq 40$ | 0,035 | 1 450 | 150 | 150 |

2.2.6.4.2.3 *Plaques avec chlorofluorocarbures CFC⁽³⁵⁾*

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Sans peau de surface | $25 \leq \rho \leq 40$ | 0,033 | 1 450 | 150 | 150 |
| Avec peau de surface | $25 \leq \rho \leq 40$ | 0,031 | 1 450 | 150 | 150 |

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.

2.2.6.4.2.4 Plaques avec des hydrofluorocarbures HFC 134a ou 152a

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 |

2.2.6.4.2.5 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) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | 20 ≤ ρ ≤ 60 | 0,050 | 1 450 | 150 | 150 |

2.2.6.4.2.6 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) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Q2 | 25 ≤ ρ ≤ 35 | 0,031 | | | |
| Q3 | 35 ≤ ρ ≤ 48 | 0,034 | | | |

2.2.6.4.3 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 2.2.6.4.3.9.

2.2.6.4.3.1 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) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Revêtements perméables à la diffusion | 27 ≤ ρ ≤ 40 | 0,035 | 1 400 | 60 | 60 |
| Alu > 50 μm ou reconnus étanches aux gaz | 27 ≤ ρ ≤ 40 | 0,030 | 1 400 | 60 | 60 |

2.2.6.4.3.2 Plaques découpées dans des blocs moulés en continu et expansés avec des hydrochlorofluoro- carbures HCFC (141b)⁽⁶⁾ et/ou aux pentanes

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | 37 ≤ ρ ≤ 65 | 0,041 | 1 400 | 60 | 60 |

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.

2.2.6.4.3.3 *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) | (C_p) 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 |

2.2.6.4.3.4 *Plaques moulées en continu projetés sur un parement rigide (plâtre, dérivés du bois, etc.) expansées avec des hydrochlorofluorocarbures⁷ ou aux pentanes*

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

2.2.6.4.3.5 *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) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | $15 \leq \rho \leq 30$ | 0,040 | 1 400 | 60 | 60 |

2.2.6.4.3.6 *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) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Référence AD | $30 \leq \rho < 35$ | 0,030 | 1 400 | 60 | 60 |
| Référence BD | $35 \leq \rho < 40$ | 0,030 | 1 400 | 60 | 60 |
| Référence CD | $40 \leq \rho < 50$ | 0,035 | 1 400 | 60 | 60 |
| Référence DD | $50 \leq \rho < 60$ | 0,035 | 1 400 | 60 | 60 |
| Référence ED | $60 \leq \rho < 70$ | 0,040 | 1 400 | 60 | 60 |
| Référence FD | $70 \leq \rho < 100$ | 0,045 | 1 400 | 60 | 60 |

2.2.6.4.3.7 *Plaques conformes à la norme NF T 56-203, découpées dans des blocs moulés en discontinu avec gaz CFC⁽⁸⁾*

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Référence AC | $29 \leq \rho < 31$ | 0,030 | 1 400 | 60 | 60 |
| Référence BC | $31 \leq \rho < 33$ | 0,030 | 1 400 | 60 | 60 |
| Référence CC | $33 \leq \rho < 37$ | 0,035 | 1 400 | 60 | 60 |

⁷ 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.

⁸ 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.

| | | | | | |
|--------------|----------------------|-------|-------|----|----|
| Référence DC | $37 \leq \rho < 46$ | 0,035 | 1 400 | 60 | 60 |
| Référence EC | $46 \leq \rho < 56$ | 0,035 | 1 400 | 60 | 60 |
| Référence FC | $56 \leq \rho < 66$ | 0,040 | 1 400 | 60 | 60 |
| Référence GC | $66 \leq \rho < 75$ | 0,040 | 1 400 | 60 | 60 |
| Référence HC | $75 \leq \rho < 100$ | 0,045 | 1 400 | 60 | 60 |

2.2.6.4.3.8 Plaques moulées en continu avec gaz CFC⁽⁶⁾⁹

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | $27 \leq \rho \leq 35$ | 0,030 | 1 400 | 60 | 60 |

2.2.6.4.3.9 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) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | $20 \leq \rho < 60$ | 0,050 | 1 400 | 60 | 60 |

2.2.6.4.3.10 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 in situ sous chape | $20 \leq \rho < 60$ | 0,050 | 1 400 | 60 | 60 |
| Autres applications | $5 \leq \rho < 60$ | 0,060 | 1 400 | 60 | 60 |

2.2.6.4.3.11 Mousse phénolique rigide

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

2.2.6.4.3.12 Panneaux fabriqués en continu, expansés aux hydrochlorofluorocarbures (HCFC 141b) et (ou) aux hydrochlorocarbures (LBL2) et (ou) aux pentanes

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | $30 \leq \rho \leq 45$ | 0,030 | 1 400 | 50 | 50 |

2.2.6.4.3.13 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 |
| | $30 \leq \rho \leq 60$ | 0,050 | 1 400 | 50 | 50 |

⁹ 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.

2.2.6.4.4 *Autres matières plastiques alvéolaires fabriquées en usine*

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m^3 | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Isolants fabriqués à partir d'autres matières plastiques alvéolaires | $7 \leq \rho \leq 100$ | 0,065 | | | |

2.2.6.5 *Plaques à base de perlite expansée*

2.2.6.5.1.1 *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_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | $220 \leq \rho \leq 275$ | 0,062 | 900 | 5 | 5 |
| | $180 \leq \rho \leq 220$ | 0,060 | 900 | 5 | 5 |
| | $150 \leq \rho \leq 180$ | 0,059 | 900 | 5 | 5 |

2.2.6.5.1.2 *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_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | $140 \leq \rho < 260$ | 0,064 | | | |

2.2.6.6 *Plaques homogènes de verre cellulaire*

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m^3 | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Fabrications postérieures à 1978 | $110 \leq \rho \leq 140$ | 0,051 | 1 000 | | |
| | $140 \leq \rho \leq 180$ | 0,057 | 1 000 | 00 | 00 |

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

2.2.6.7.1.1 Cellulose à base de papiers broyés

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Application par machine pneumatique | Voir l'annexe XII du présent arrêté | | | | |
| Application manuelle par épandage | | | | | |

2.2.6.7.1.2 Chanvre et lin

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Fibres liées | Voir l'annexe XII du présent arrêté | | | | |
| Fibres non liées : en vrac | | | | | |

2.2.6.7.1.3 Paille de blé comprimée

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Transversalement au sens de la paille | Voir l'annexe XII du présent arrêté | | | | |
| Dans le sens de la paille | | | | | |

2.2.6.7.1.4 Autres types de paille comprimée

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | Voir l'annexe XII du présent arrêté | | | | |

2.2.6.7.1.5 Autres isolants à base de fibres végétales

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | Voir l'annexe XII du présent arrêté | | | | |

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

2.2.6.8.1.1 Laine de mouton

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| | Voir l'annexe XII du présent arrêté | | | | |

2.2.6.8.1.2 Autres isolants à base de fibres animales

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | Sec | Humide |
| Voir l'annexe XII du présent arrêté | | | | | |

2.2.7 MATIERES PLASTIQUES SYNTHETIQUES COMPACTES, MASTICS ET PRODUITS D'ÉTANCHEITE

2.2.7.1 Matières synthétiques compactes d'usage courant dans le bâtiment

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|---|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|---------|
| | | | | 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 | 1900 | 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 |

2.2.7.2 Mastics pour joints, étanchéité et coupure thermique

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 |

2.2.7.3 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.

2.2.7.3.1.1 Asphalte

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 |

2.2.7.3.1.2 Bitume

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 |

2.2.8 METAUX

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

2.2.9 AUTRES MATERIAUX

2.2.9.1 Terres et sols

2.2.9.1.1 Sols

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

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

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

2.2.9.1.3 Revêtements de sol

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) en J/(kg.K) | (μ) | |
|--|----------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|--------|
| | | | | 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 |

2.2.9.2 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) | (C _p) 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/m³.

2.2.9.3 Fibres-ciment et fibres-ciment cellulosé

2.2.9.3.1 Fibres-ciment

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

2.2.9.3.2 Fibres-ciment cellulosé

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

2.2.9.4 Plaques à base de vermiculite agglomérées aux silicates

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

2.2.9.5 Verre

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 | ∞ | ∞ |

2.2.9.6 Matériaux en vrac

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

2.2.9.7 Gaz

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 |

2.2.9.8 Eau

| Matériaux ou application | (ρ) en kg/m ³ | (λ) en W/(m.K) | (C_p) 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 | | |

3. FASCICULE « PAROIS VITREES »

3.1 Introduction

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

Les caractéristiques intrinsèques de la paroi vitrée déterminées suivant ce fascicule servent notamment :

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

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

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

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

3.1.1 *COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U*

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

Ce coefficient permet de caractériser le procédé de façon intrinsèque. L'impact de son intégration dans l'ouvrage sur la performance thermique est pris en compte de façon séparée par l'intermédiaire du chapitre 3.3.1.

3.1.2 *FACTEUR DE TRANSMISSION SOLAIRE S*

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

Ce coefficient permet de caractériser le procédé de façon intrinsèque. L'impact de son intégration dans l'ouvrage est pris en compte de façon séparée par l'intermédiaire du chapitre 3.3.2.

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

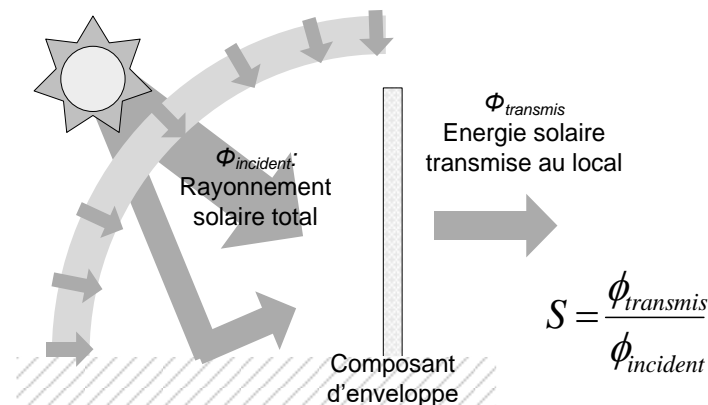


Figure 9 : Notion de facteur de transmission solaire S

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

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

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

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

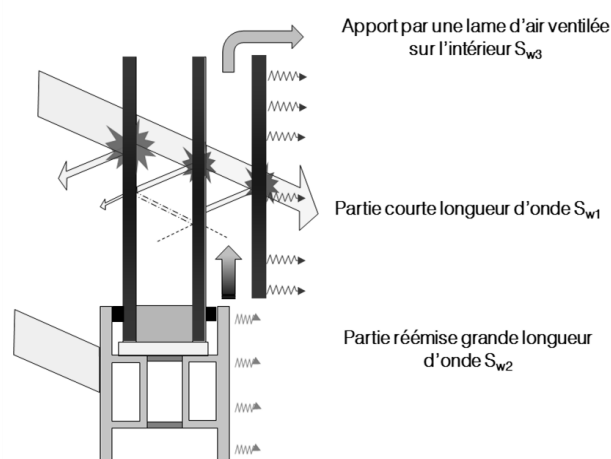


Figure 10 : Composantes 1,2 et 3 du facteur de transmission solaire – cas d'une fenêtre équipée d'une protection solaire intérieure

3.1.3 FACTEUR DE TRANSMISSION LUMINEUSE TL

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

Ce coefficient permet de caractériser le procédé de façon intrinsèque. L'impact de son intégration dans l'ouvrage est pris en compte de façon séparée par l'intermédiaire du chapitre 3.3.3.

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

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

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

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

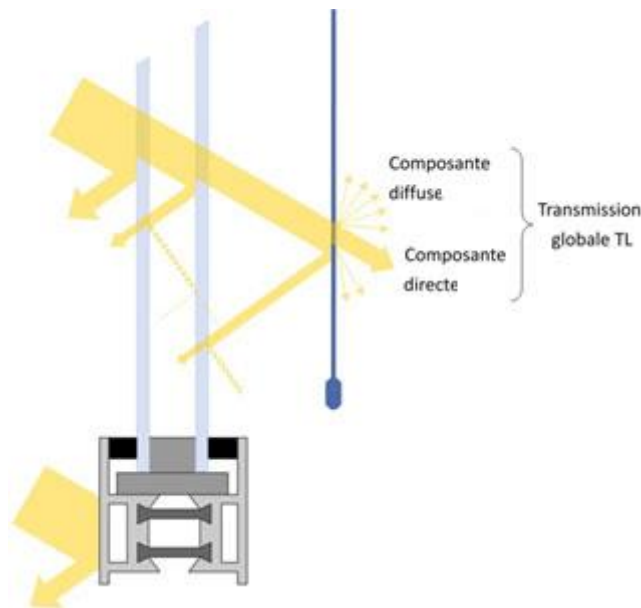


Figure 11 : Décomposition de l'énergie lumineuse – cas d'une fenêtre équipée d'une protection solaire intérieure

3.1.4 REFERENCES NORMATIVES

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

Normes d'essai

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

Normes de calcul

- NF EN ISO 10077-1** Performances thermiques des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – Partie 1 : Méthode simplifiée.
- NF EN ISO 10077-2** Performances thermiques des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – Partie 2 : Méthode numérique pour profilés de menuiserie.
- NF EN 673** Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode de calcul.
- NF EN ISO 12631** Performance thermique des façades-rideaux - Calcul du coefficient de transmission thermique.
- NF EN ISO 6946** Composants et parois de bâtiments – Résistance thermique et coefficient de transmission thermique – Méthode de calcul.
- NF EN 13125** Fermetures pour baies équipées de fenêtres, stores intérieurs et extérieurs – Résistance thermique additionnelle – Attribution d'une classe de perméabilité à l'air à un produit.
- NF EN ISO 10211** Ponts thermiques dans les bâtiments - Flux thermiques et températures superficielles - Calculs détaillés.

| | |
|--------------------|---|
| EN 410 | Verre dans la construction : détermination des caractéristiques lumineuses et solaires des vitrages. |
| ISO 52022-3 | Méthode de calcul détaillée des caractéristiques solaires et de lumière du jour pour les dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages. |
| EN 14500 | Fermetures et stores : confort thermique et lumineux, méthode de calcul. |
| XP P50-77 | Détermination du facteur de transmission solaire et lumineuse. |

| Normes produits

| | |
|----------------------|--|
| NF EN 1096 | Verre dans la construction - Verre à couche. |
| NF EN 1279 | Verre dans la construction – Vitrage isolant préfabriqué scellé. |
| NF EN 572 | Verre dans la construction - Produits de base : verre de silicate sodocalcique. |
| NF EN 14351-1 | Fenêtres et portes — Norme produit, caractéristiques de performance — Partie 1 : Fenêtres et blocs portes extérieurs pour piétons. |
| NF EN 14501 | Fermetures et stores : confort thermique et lumineux, caractérisation des performances et classification. |
| NF EN 16153 | Plaques d'éclairage multiparois et planes en polycarbonate (PC) pour usage intérieur ou extérieur dans les toitures, bardages et plafonds - Exigences et méthodes d'essai. |
| NF EN 1873 | Accessoires préfabriqués pour couverture - Lanterneaux ponctuels en matière plastique - Spécifications des produits et méthodes d'essais. |
| NF EN 14963 | Éléments de couverture - Lanterneaux continus en matière plastique avec et sans costière - Classification, spécifications et méthodes d'essais. |
| NF EN 13830 | Façades rideaux - Norme de produit. |

3.1.5 DEFINITIONS, SYMBOLES ET INDICES

3.1.5.1 Définitions

Dans ce document, les définitions suivantes s'appliquent :

– **Flux thermique Φ en W** : quantité de chaleur transmise à (ou fournie) par un système, divisée par le temps ;

– **Densité surfacique (ou linéique) du flux thermique ϕ , en W/m² (ou W/m)** : flux thermique par unité de surface (ou par unité de longueur) ;

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

– **Coefficient de transmission surfacique U, en W/(m².K)** : flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système ;

– **Coefficient de transmission linéique ψ , en W/(m.K)** : flux thermique en régime stationnaire par unité de longueur, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système ;

– **Résistance thermique R, en (m².K)/W** : inverse du flux thermique à travers un mètre carré d'un système pour une différence de température de un kelvin entre les deux faces de ce système ;

– **Résistance thermique totale R_T, en (m².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 (m².K)/W** : inverse du flux thermique passant par mètre carré de paroi, de l'ambiance à la paroi pour une différence de température de un kelvin entre celles-ci ;

- **Élément de remplissage** : il s'agit généralement soit d'un vitrage (simple, double ou triple), soit d'un panneau opaque (ou translucide) ;

- **Menuiserie** : ensemble de profilés, fixes, dormants ou ouvrants (incluant les joints, mastics et produits d'étanchéité) pouvant encadrer l'élément de remplissage ;

- **Aire projetée** : aire de la surface projetée sur un plan parallèle à l'élément de remplissage de la paroi vitrée ;

- **Aire développée** : surface de toutes les parties, d'un élément donné, en contact direct avec l'ambiance, intérieure ou extérieure, selon le cas ;

- **Cavité d'air** : volume d'air dont la largeur de la section transversale, en partie courante, est inférieure à dix fois son épaisseur ;

- **Lame d'air** : volume d'air dont la largeur de la section transversale, en partie courante, est supérieure à dix fois son épaisseur ;

- **Cavité d'air non ventilée** : cavité complètement fermée ou qui communique avec l'ambiance intérieure ou extérieure par le biais d'un interstice ne dépassant pas 2 mm ;

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

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

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

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

- **Valeurs tabulées** : valeurs obtenues par application directe des méthodes et valables dans les plages de donnée d'entrée utilisées pour l'application des méthodes,

- **Valeurs par défaut** : valeurs sécuritaires à utiliser comme caractéristique thermique utile pour le bâtiment neuf en absence de valeur déclarée et sans justification particulière,

- **Caractéristique thermique utile** : Caractéristique thermique représentative du comportement thermique des parois, éléments ou composants, qui peut être considérée comme caractéristique de la performance de ce matériau ou de ce produit une fois incorporé dans le bâtiment et ceci durant toute la durée de vie de l'ouvrage. Par conséquent, la caractéristique thermique utile, doit être à la fois représentative de l'ensemble de la production dans l'espace et dans le temps avec la prise en compte dans la mesure du possible, des conditions moyennes d'utilisation rencontrées dans le bâtiment (mise en œuvre, température, humidité, vent, vieillissement, etc...).

- **Caractéristique thermique déclarée** : Caractéristique thermique établie conformément à des spécifications techniques européennes (normes harmonisées ou Documents d'Evaluation Européen) ou bien dans le cadre d'une certification. La caractéristique thermique déclarée peut être différente de la caractéristique thermique utile, notamment si les conventions servant à son élaboration, ne sont pas représentatives de celles rencontrée dans le bâtiment.

- **Baie** : ouverture ménagée dans une paroi extérieure servant pour l'éclairage, le passage ou l'aération. La baie est l'ouverture accueillant la paroi vitrée. Les facteurs de transmission solaire ou lumineux obtenus sont définis au niveau de la baie.

- **Brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées** : dispositif parallèle au plan de la paroi vitrée, constitué de lames fixes inclinées d'un angle compris entre 0° et 90° par rapport au plan de la paroi vitrée.

- **Cadre** : élément structurel opaque de l'ensemble menuisé.

- **Cas courant** : baie associée à une paroi vitrée entrant dans le domaine d'application de la norme XP P50-777. Si tel n'est pas le cas, on parlera de **cas particulier** (par exemple pour les lanterneaux).

- **Composant d'enveloppe** : un composant d'enveloppe est soit une paroi opaque, soit un pont thermique, soit une baie.

- **Élément opaque (de paroi vitrée)**² : remplissage opaque constitutif de l'ensemble menuisé.

- **Inclinaison d'un composant** : l'inclinaison d'un composant d'enveloppe est notée β , et comprise dans l'intervalle $[0^\circ; 180^\circ[$, où 0° correspond à une paroi horizontale orientée vers le ciel, 90° à une paroi verticale et 180° à une paroi horizontale orientée vers le bas.

- **Masque proche** : obstacle architectural au rayonnement solaire, lié au bâtiment étudié, tel que les surplombs ou les débords latéraux (« casquettes ») ou les brise-soleil fixes.

- **Masque proche à projection** : masque proche opaque, transparent ou translucide incliné d'un angle β_{pp} par rapport à la verticale, et recouvrant partiellement le composant d'enveloppe.

- **Orientation d'un composant d'enveloppe** : il s'agit de l'orientation de la paroi vitrée associée à la baie. Elle est notée θ et est comprise dans l'intervalle $[0^\circ; 360^\circ]$. Par convention, l'orientation sud correspond à 0° , l'ouest à 90° , le nord à 180° et l'est à 270° .

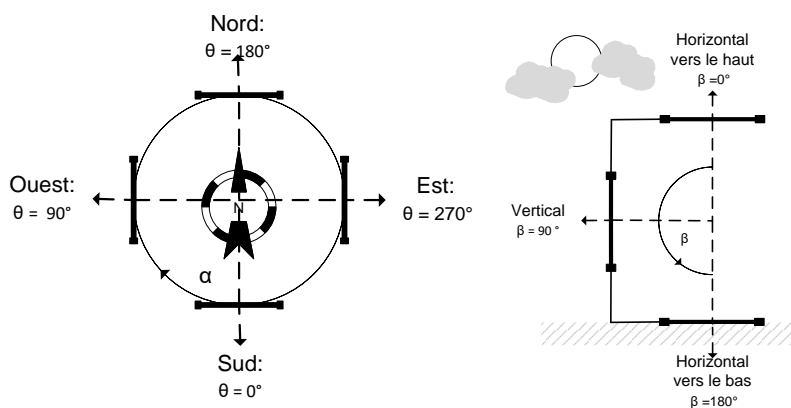


Figure 12 : Conventions d'orientation et d'inclinaison des composants d'enveloppe

- **Paroi transparente ou translucide** : une paroi est dite transparente ou translucide si son facteur de transmission lumineuse (hors protection mobile éventuelle) est égal ou supérieur à 0,05. Dans le cas contraire, elle est dite opaque. Un vitrage est un exemple de paroi transparente.

- **Paroi vitrée** : 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 13). Une paroi vitrée peut être associée ou non à une protection mobile.

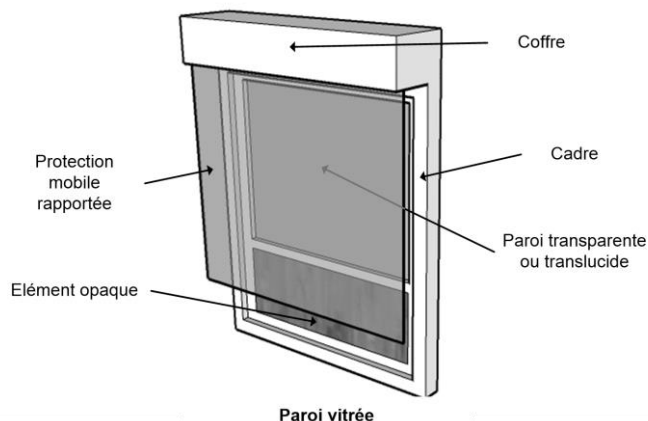


Figure 13 : Éléments constitutifs de la paroi vitrée

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

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

- **Protection mobile rapportée à lames 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.

3.1.5.2 Symboles et indices

3.1.5.2.1 Coefficient U

Tableau 9 : Symboles

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

Tableau 10 : Indices

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

3.1.5.2.2 Facteur solaire S

Tableau 11 : Nomenclature pour le facteur solaire

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

Conventions d'indices

Ces notations, également employées dans les présentes règles sont explicitées ci-dessous.

Les indices de caractérisation des composants sont les suivants :

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

Les composantes sont désignées de la manière suivante :

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

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

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

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

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

3.1.5.2.3 Facteur de transmission lumineuse TL

Tableau 12 : Nomenclature pour le facteur de transmission lumineuse

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

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

Les indices de caractérisation des composants sont les suivants :

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

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

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

3.1.6 FACTEURS DE TRANSMISSION SOLAIRE OU LUMINEUSE : L'APPORT DES REGLES TH-BAT

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

Pour ces cas courants, le contexte normatif prévoit la détermination de facteurs de transmission solaire ou lumineuse à incidence directe normale, à l'exception des parois à protections à lames inclinées¹⁰.

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

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

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

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

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

Tableau 13 : Cohérence des textes normatifs et des règles Th-Bât

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

¹⁰ 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.

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

Tableau 14 : 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

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

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

Tableau 15 : Résultats d'application des normes de détermination des facteurs solaires pour les parois vitrées munies de protection mobile à lames inclinées

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

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

Tableau 16 : Résultats d'application des normes pour les parois vitrées

| <i>Incidence</i> | <i>Composante intérieure</i> | <i>Paroi vitrée</i> | | |
|--|------------------------------|---|--|---|
| | | <i>Sans protection rapportée en place (nue)</i> | <i>Avec protection rapportée en place autre qu'à lames inclinées</i> | <i>Avec protection rapportée à lames inclinées en place</i> |
| <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 | | | $TL_{ws_dif}(\alpha)$ |
| <i>Réfléchie</i> | Global | | | $TL_{ws_ref}(\alpha)$ |
| | Diffusé | | | $TL_{ws_ref,dif}(\alpha)$ |

Les présentes règles aboutissent à partir de ces données d'entrée aux résultats du produit intégré dans son ouvrage qui sont déterminés conformément aux paragraphes 3.3.2 et 3.3.3.

3.2 Méthodes de calcul des parois vitrées par procédé

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

Les coefficients de prise en compte de l'intégration dans l'ouvrage de ces procédés sont détaillés dans les paragraphes 3.3.1 (pour la transmission thermique), le paragraphe 3.3.2 (pour le facteur solaire) et le paragraphe 3.3.3 (pour la transmission lumineuse).

Une alternative aux méthodes de calcul décrites ci-après est la mesure de la paroi vitrée ou de ses composants conformément aux normes d'essai citées au paragraphe 3.1.4. Cependant les résultats de mesure à la boîte chaude gardée ne sont généralement valables que pour l'éprouvette mesurée et ne peuvent, par conséquent, être étendus à d'autres parois ou composants similaires.

Lorsqu'un calcul est réalisé les règles d'arrondi à utiliser sont précisées au paragraphe 3.2.17.

3.2.1 FENETRES ET PORTES-FENETRES

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

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

Dans le cas où la valeur de transmission thermique est déterminée par calcul (selon la norme de calcul NF EN ISO 10077-1), des hypothèses de calcul et des règles de présentation des résultats, qui précisent celles indiquées dans la norme, sont à utiliser (cf. paragraphes 3.2.1.1.1 et 3.2.1.1.2).

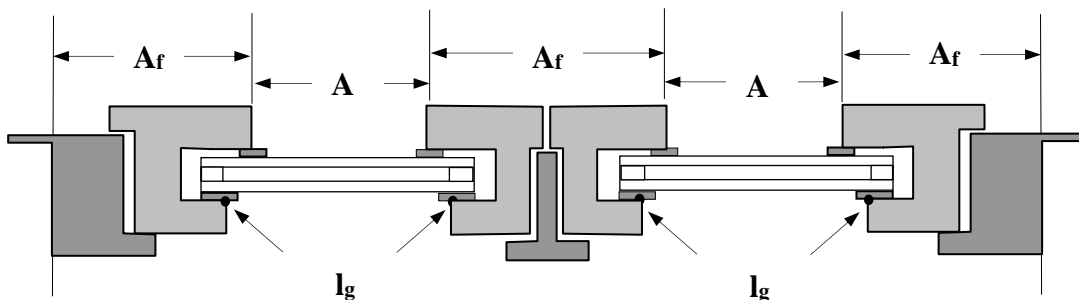


Figure 14 : Dimensions des différents composants de la fenêtre

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

$$U_w = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_{fi} A_{fi} + \sum \psi_g l_g}{\sum A_g + \sum A_{fi}} \quad (\text{Formule 8}) ;$$

où

- A_g est la plus petite des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi en m^2 . On ne tient pas compte des débordements des joints.
- A_{fi} est la plus grande aire projetée de la menuiserie prise sans recouvrements (incluant la surface de la pièce d'appui éventuelle), vue des deux côtés de la paroi, en m^2 . La largeur des montants en partie courante est supposée se prolonger sur toute la hauteur de la fenêtre.
- l_g est la plus grande somme des périmètres visibles du vitrage, vus des deux côtés de la paroi en m.
- U_g est le coefficient de transmission thermique surfacique utile en partie centrale du vitrage, en $W/(m^2.K)$. La méthode de calcul détaillée du coefficient U_g du vitrage isolant est décrite dans la norme NF EN 673. En cas de parois vitrées inclinées, une valeur de U_g en position horizontale est également requise en plus de la valeur de U_g en position verticale.
- U_{fi} est le coefficient surfacique de la menuiserie du montant ou de la traverse numéro i, en $W/(m^2.K)$. Le coefficient U_{fi} de la menuiserie peut être déterminé soit par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, soit par mesure directe conformément à la norme NF EN ISO 12412 – 2.
- ψ_g est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'intercalaire du vitrage et du profilé, en $W/(m.K)$. Il peut être déterminé soit par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, soit par mesure directe conformément à la norme NF EN ISO 12412 – 2.

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

$$U_w = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_{fi} A_{fi} + \sum U_p A_p + \sum \psi_g l_g + \sum \psi_p l_p}{\sum A_g + \sum A_{fi} + \sum A_p} \quad (\text{Formule 9}) ;$$

où

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

3.2.1.1.1 Hypothèses de modélisation

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

Pour toutes les menuiseries, hormis les galandages côté refoulement, la cavité en dos de dormant est remplacée par une condition adiabatique le long de son interface avec la menuiserie, afin de tenir compte de la présence en général d'un isolant thermique au droit du dormant.

Les dimensions à prendre en compte pour le calcul du coefficient surfacique moyen U_w , sont les dimensions hors tout de la fenêtre ou de la porte-fenêtre, prises indépendamment de la mise en œuvre. Tout débordement dû aux recouvrements éventuels est à exclure (cf. Figure 14).

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

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

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

Tableau 17 – Propriétés thermiques des matériaux

| Groupe de matériau | Matériau | Masse volumique kg/m^3 | Conductivité thermique W/(m.K) |
|--------------------|---|---------------------------------|---|
| Menuiserie | Alliage d'aluminium | 2 800 | 160 |
| | Acier | 7 800 | 50 |
| | Acier inox | 7 900 | 17 |
| | PVC (polyvinylchloride) rigide | 1 390 | 0,17 |
| | Épicéa, Sapin blanc, Western Red Cedar | (1) | 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 |

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

| Groupe de matériau | Matériau | Masse volumique kg/m ³ | Conductivité thermique W/(m.K) |
|---|---|-----------------------------------|--------------------------------|
| Verre | Verre silico-sodo-calcique | 2500 | 1,00 |
| Coupure thermique | Polyamide 6.6 avec 25 % de fibre de verre | 1450 | 0,30 |
| | Polyéthylène forte densité | 980 | 0,50 |
| | Polyéthylène faible densité | 920 | 0,33 |
| | Résine de polyuréthane | 1200 | 0,25 |
| | PVC rigide | 1390 | 0,17 |
| Produits d'étanchéité | Néoprène | 1240 | 0,23 |
| | EPDM | 1150 | 0,25 |
| | Silicone pure | 1200 | 0,35 |
| | PVC souple | 1200 | 0,14 |
| | Brosse en polyester | - | 0,14 |
| | Mousse élastomère flexible | 60-80 | 0,05 |
| Produits de scellement du vitrage isolant | Polyuréthane rigide | 1200 | 0,25 |
| | Butyle solide | 1200 | 0,24 |
| | Silicone pure | 1200 | 0,35 |
| | Résine de polyester | 1400 | 0,19 |
| | Silicagel (dessicatif) | 720 | 0,13 |
| | Tamis moléculaire | 650-750 | 0,10 |
| | Mousse de silicone de faible densité | 750 | 0,12 |
| | Mousse de silicone de forte densité | 820 | 0,17 |
| | Polysulfure | 1700 | 0,40 |

3.2.1.1.2 *Présentation des résultats*

Les résultats doivent être impérativement accompagnés des informations suivantes :

- le détail côté ou à l'échelle des profilés et du panneau de remplissage ;
- le maillage pratiqué sur l'ensemble du modèle ;
- la conductivité thermique des matériaux utilisés. ;
- l'émissivité normale des surfaces internes des cavités, si des valeurs inférieures à 0,9 sont utilisées ;
- les conditions aux limites : plans adiabatiques, températures d'ambiances et résistances superficielles correspondantes ;
- le flux de chaleur total, en W/m ;
- le coefficient surfacique des profilés de la menuiserie exprimé avec deux chiffres significatifs, en W/(m².K) ;
- La méthode utilisée pour le traitement des cavités d'air.

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

Ce paragraphe donne la méthode de calcul du coefficient U_{ws} des parois vitrées équipées de protection mobile, type fermeture ou store, selon la norme NF EN ISO 10077-1 à partir du coefficient U_w de la fenêtre nue (norme 10077-1) et de la résistance thermique additionnelle ΔR (norme NF EN 13125).

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

$$U_{ws} = \frac{1}{(1/U_w + \Delta R)} \quad (\text{Formule 10}) ;$$

où

U_w est le coefficient de transmission thermique U de la paroi vitrée, en $W/(m^2.K)$, donné au paragraphe 3.2.1.1 ;

ΔR est la résistance thermique additionnelle, en $m^2.K/W$, apportée par l'ensemble fermeture ou store – lame d'air ventilée.

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

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

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

- Classe 3 ou inférieure : l'effet de la couche basse émissivité est négligeable du fait des circulations d'air importantes. Le calcul de la résistance thermique additionnelle ΔR se fait alors conformément à la méthode des fermetures extérieures de la norme NF EN 13125.
- Classe 4 : Fermetures de faible perméabilité :

$$\Delta R = 0,80 \times (R_s + R_{gc}) \quad (\text{Formule 1}) ;$$

- Classe 5 : Fermetures de très faible perméabilité :

$$\Delta R = 0,95 \times (R_s + R_{gc}) \quad (\text{Formule 2}) ;$$

Où :

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

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

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

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

Tableau 18 : Résistances thermiques de la lame d'air non ventilée intégrant la face faiblement émissive R_{ge} en fonction de l'émissivité utile ϵ_u

| ϵ_u | R_{ge} (m ² .K/W) |
|--------------|--------------------------------|
| 0,27 | 0,34 |
| 0,30 | 0,33 |
| 0,35 | 0,30 |
| 0,40 | 0,28 |
| 0,50 | 0,25 |
| 0,90 | 0,17 |

3.2.1.3 *Facteur de transmission solaire S_w et S_{ws} des fenêtres et portes-fenêtres*

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

3.2.1.4 *Facteur de transmission lumineuse TL_w et TL_{ws} des fenêtres et portes fenêtrés*

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

3.2.2 FENETRES DE TOIT

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$U_{w,0^\circ} = 1,6 \times U_{w,90^\circ} \quad (\text{Formule 3}) ;$$

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

3.2.2.2 Facteur de transmission solaire S_w et S_{ws} des fenêtres de toit

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

3.2.2.3 Facteur de transmission lumineuse TL_w et TL_{ws} des fenêtres de toit

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

3.2.3 FENETRES A GALANDAGE

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

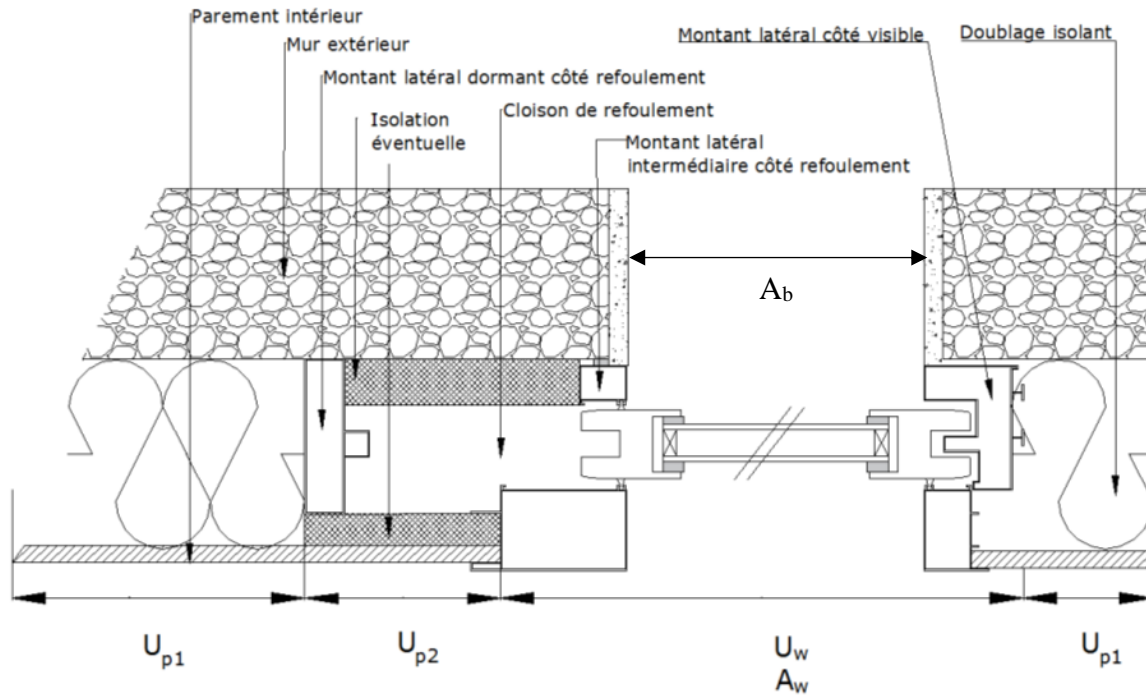


Figure 15 : Schéma d'une fenêtre à galandage

Le coefficient de transmission thermique $U_{w,baie}$ d'une fenêtre à galandage à renseigner pour la baie dans la méthode de destination se calcule à partir de la formule suivante :

$$U_{w,baie} = \frac{A_w}{A_b} \cdot U_w$$

Où :

A_w : Surface dos de dormant de la fenêtre à galandage (voir schéma)

A_b : Surface de la baie (voir schéma)

U_w : Coefficient de transmission thermique de la fenêtre à galandage nue, calculé selon la formule :

$$U_w = \frac{U_g \times A_g + \sum_i U_{fi} \times A_{fi} + \sum_i \psi_{gi} \times l_{gi}}{A_g + A_f} \quad \text{W/(m}^2\text{.K)} \quad \text{(Formule 11) ;}$$

avec :

- U_g : coefficient surfacique de transmission thermique de la partie vitrée, en $W/(m^2.K)$:
- A_g : la plus petite surface de vitrage vue des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m^2 ,

- U_{fi} : coefficient surfacique du montant ou de la traverse numéro i , en $W/(m^2.K)$: ce coefficient est calculé par une méthode numérique aux éléments finis.

Le calcul particulier du montant latéral intermédiaire côté refoulement est expliqué ci-dessous ;

- A_{fi} : surface du montant ou de la traverse numéro i , en m^2 . La largeur des montants latéraux est supposée prolongée sur toute la hauteur de la fenêtre ;
- A_f : la plus grande surface de la menuiserie vue des deux côtés intérieur et extérieur, en m^2 ;
- Ψ_g : coefficient de transmission thermique linéique dû à l'effet thermique entre le vitrage et la menuiserie, en $W/(m.K)$;
- l_g : le plus grand périmètre du vitrage vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m .

Définition largeur b_f :

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

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

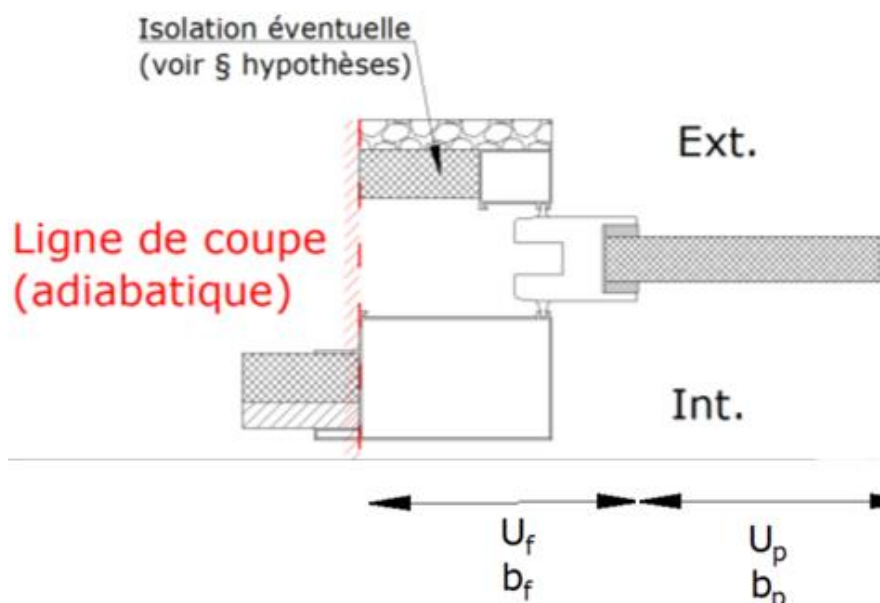


Figure 16 : Définition de la largeur b_f (profilé intérieur plus large que celui à l'extérieur)

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

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

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

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

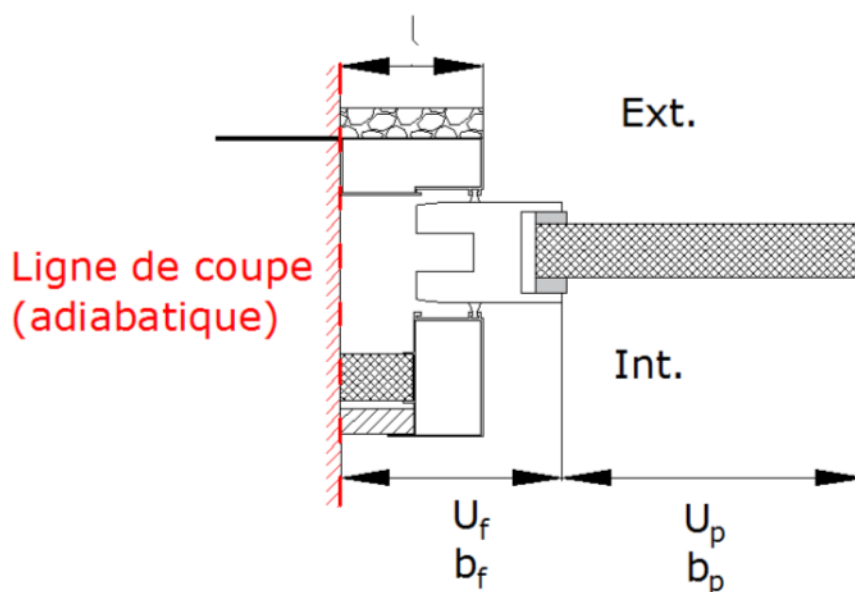


Figure 17 : Définition de la largeur b_f (profilé extérieur plus large que celui à l'intérieur)

Cas du montant intermédiaire côté refoulement :

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

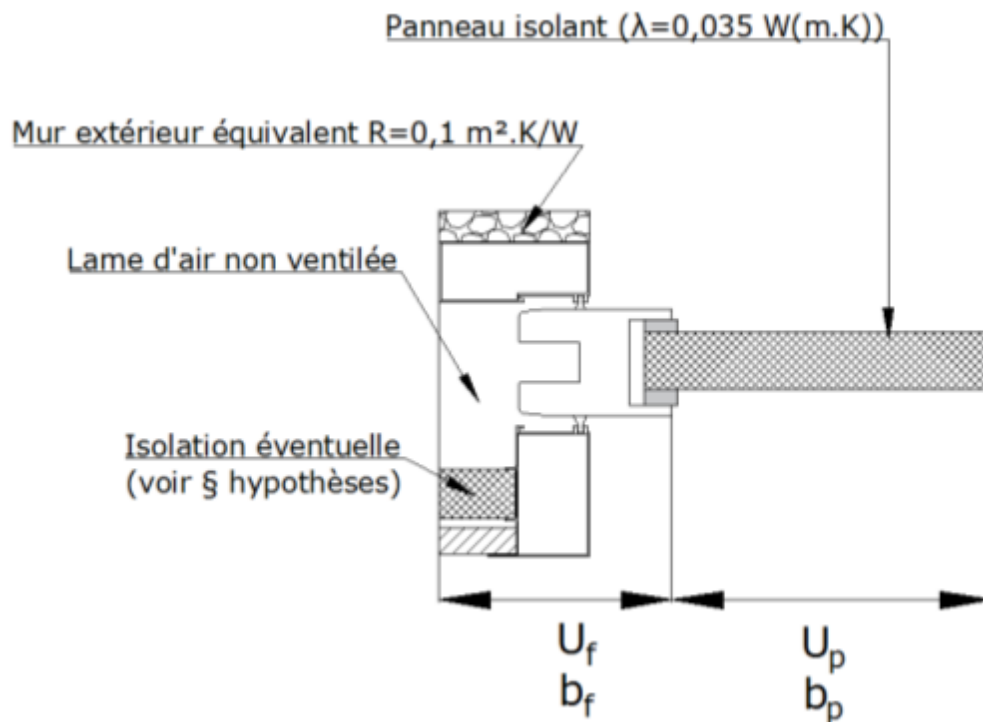


Figure 18 : Définition de la largeur b_f du montant intermédiaire côté refoulement

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

$$U_f = \frac{\varphi_1 - U_p \times b_p}{b_f} \quad \text{W}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad (\text{Formule 4}) ;$$

avec :

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

Cas du montant latéral dormant côté refoulement :

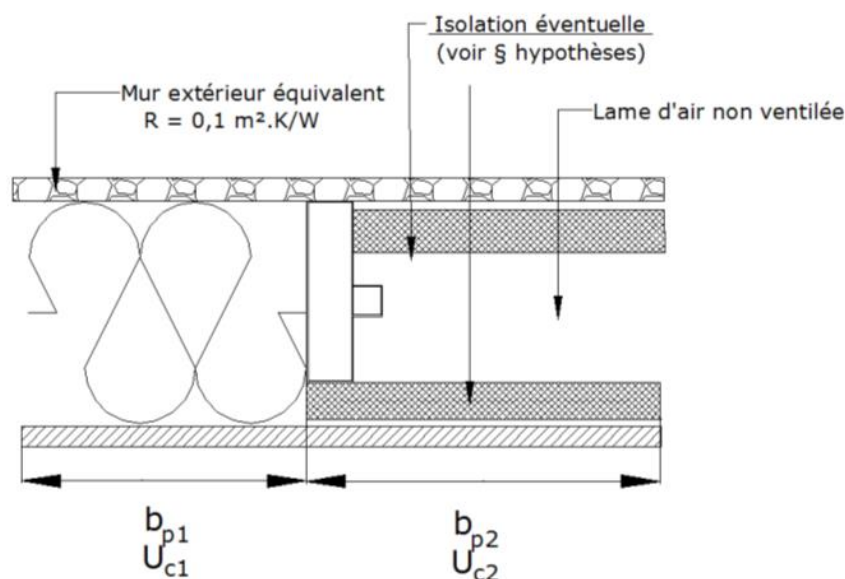


Figure 19 : Convention de calcul du montant latéral dormants

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

$$\Psi_r = \frac{\varphi_2}{\Delta T} - U_{c1} \times b_{p1} - U_{c2} \times b_{p2} \quad \text{W/(m.K)} \quad (\text{Formule 12}) ;$$

Avec :

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

Valeurs par défaut du coefficient Ψ_r :

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

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

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

$$U_{p2} = U_{c2} + \frac{\Psi_r \times H}{A_{p2}} \quad \text{W/(m.K)} \quad \text{(Formule 13) ;}$$

Avec :

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

Hypothèses :

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

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

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

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

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

Le coefficient de transmission thermique U_{ws} de la fenêtre à galandage avec sa protection se calcule selon le §3.2.1.2.

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

3.2.3.2 Méthode de calcul S_w et TL_w pour les fenêtres à galandage

Facteur solaire et transmission lumineuse d'une fenêtre à galandage à incidence normale

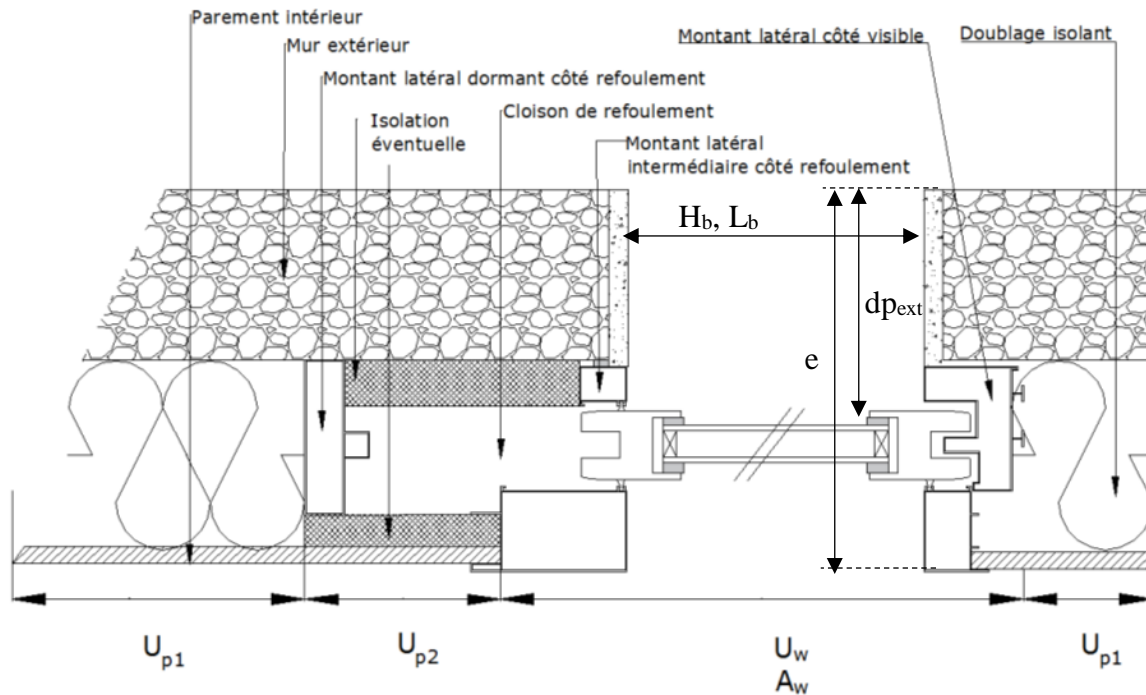


Figure 20 : Schéma d'une fenêtre à galandage

Les facteurs de transmission solaire et lumineuse $S_{w,baie}$ et $TL_{w,baie}$ d'une fenêtre à galandage à renseigner dans la méthode de destination, se calculent à partir des formules suivantes :

$$S_{w,baie} = \frac{A_w}{A_b} \cdot S_w$$

$$TL_{w,baie} = \frac{A_w}{A_b} \cdot TL_w$$

$$S_{ws,baie} = \frac{A_w}{A_b} \cdot S_{ws}$$

$$TL_{ws,baie} = \frac{A_w}{A_b} \cdot TL_{ws}$$

Où :

A_w : Surface dos de dormant de la fenêtre à galandage (voir schéma)

A_b : Surface de la baie (voir schéma)

S_{ws} , TL_{ws} , S_w , TL_w : Facteurs de transmission solaire et lumineuse de la fenêtre à galandage nue, avec ou sans protection solaire et à incidence normale calculés à partir de la norme XP 50-777 en considérant les valeurs de A_g , A_{fi} et U_{fi} déterminées par le paragraphe 3.2.3.1. du Fascicule Méthodes Paroi Vitrée.

Les apports solaires par les éléments de doublage et la cloison de refoulement doivent être pris en compte séparément, conformément au paragraphe 4.3.1.3 du Fascicule Méthode Paroi Opaque.

Intégration dans l'ouvrage

Le facteur solaire et la transmission lumineuse d'une fenêtre à galandage à incidence normale doivent être corrigés pour tenir compte de l'intégration de cette fenêtre dans le mur. La correction se fait conformément au paragraphe 3 du Fascicule Méthodes Paroi Vitrée. Les facteurs de formes K_s et K se calculent à partir des dimensions représentées sur la figure précédente et des formules suivantes :

$$K = \frac{L_b \cdot H_b}{e \cdot (L_b + H_b)}$$
$$K_s = \frac{L_b \cdot H_b}{d_{p_{ext}} \cdot (L_b + H_b)}$$

Où :

- L_b, H_b Largeur et hauteur de la baie, c'est-à-dire l'ouverture ménagée dans la paroi extérieure (définition complète au paragraphe 3.1.5.1), en m.
- $d_{p_{ext}}$ Distance entre le plan extérieur de la paroi transparente (vitrage) et le plan extérieur de la paroi opaque, isolation comprise, en m.
- e Epaisseur 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), en m.

3.2.4 DOUBLES FENETRES, DOUBLES PORTES OU DOUBLES PORTES-FENETRES

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

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

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - (R_{si} + R_{se}) + R_s + \frac{1}{U_{w2}}} \quad (\text{Formule 14}) ;$$

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

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

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

Le coefficient de transmission thermique U_{ws} de la double fenêtre, double porte ou double porte-fenêtre avec sa protection se calcule selon le §3.2.1.2.

3.2.4.2 Méthode de calcul S_w et TL_w pour les doubles fenêtres

Facteur solaire et transmission lumineuse de la double fenêtre seule à incidence normale

Le facteur solaire et la transmission lumineuse d'une double fenêtre à incidence normale se calcule à partir de la formule suivante :

$$\left. \begin{array}{l} S_{w1} = \sigma_{ext} \cdot S_{g1,eq} \\ S_{w2} = \sigma_{ext} \cdot S_{g2,eq} + (1 - \sigma_{ext}) \cdot S_{f,ext} \\ S_{w3} = 0 \end{array} \right\} S_w = S_{w1} + S_{w2} + S_{w3}$$

$$\left. \begin{array}{l} TL_w = \sigma_{ext} \cdot TL_{g,eq} \\ TL_{w,dif} = 0 \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} S_{ws1} = \sigma_{ext} \cdot S_{gs1,eq} \\ S_{ws2} = \sigma_{ext} \cdot S_{gs2,eq} + (1 - \sigma_{ext}) \cdot S_{f,ext} \\ S_{ws3} = \sigma_{ext} \cdot S_{gs3,eq} \end{array} \right\} S_{ws} = S_{ws1} + S_{ws2} + S_{ws3}$$

$$\left. \begin{array}{l} TL_{ws} = \sigma_{ext} \cdot TL_{gs,eq} \\ TL_{ws,dif} = 0 \end{array} \right\}$$

Avec :

Où :

σ_{ext}

est le ratio clair de la fenêtre située à l'extérieur de la double fenêtre

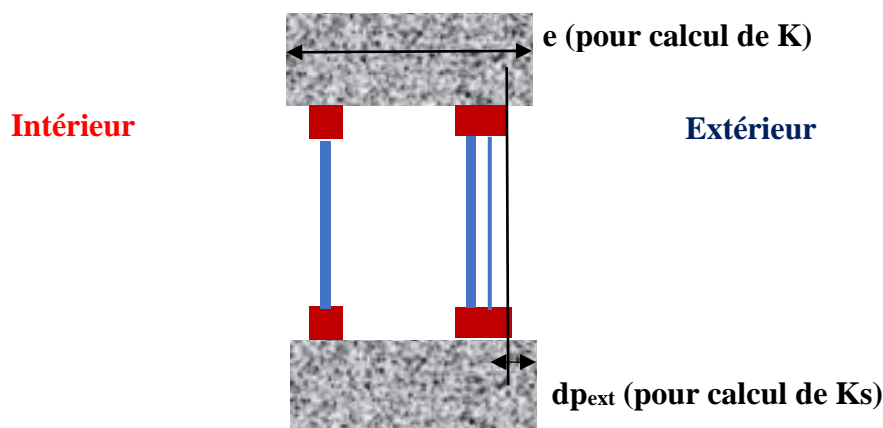
$S_{g1,eq}$, $S_{g2,eq}$ et $TL_{g,eq}$ sont les composantes directes et réémises du facteur solaire et la transmission lumineuse de l'ensemble des couches de vitrages, sans protection solaire, déterminées selon la norme NF EN ISO 52022-3. Ces valeurs se calculent à partir des propriétés optiques des verres,

des dimensions des lames de gaz, en considérant la lame d'air située entre les deux fenêtres comme non ventilée.

$S_{gs1,eq}$, $S_{gs2,eq}$ et $TL_{gs,eq}$ sont les composantes directes et réémises du facteur solaire et la transmission lumineuse de l'ensemble des couches de vitrages, avec protection solaire, déterminées selon la norme NF EN ISO 52022-3. Ces valeurs se calculent à partir des propriétés optiques des verres et des protections solaires pleinement déployées, des dimensions des lames de gaz, en considérant la lame d'air située entre les deux fenêtres comme non ventilée.

Intégration dans l'ouvrage

Le facteur solaire et la transmission lumineuse d'une double fenêtre à incidence normale doivent être corrigés pour tenir compte de l'intégration de la double fenêtre dans le mur. La correction se fait conformément au paragraphe 3.3 du Fascicule Méthodes Paroi Vitrée. Les épaisseurs caractéristiques à prendre en compte pour le calcul des facteurs de formes K_s et K sont représentées sur le schéma suivant :



3.2.5 BLOCS-BAIES

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

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

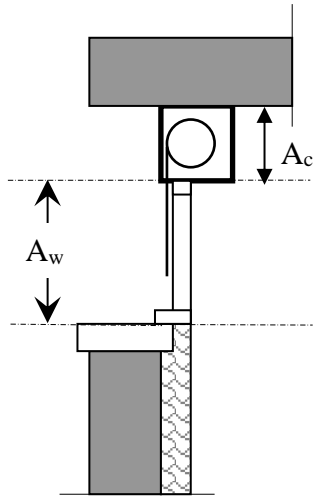


Figure 21 : Coffre de volet roulant dans la surface du tableau de la baie (à gauche)

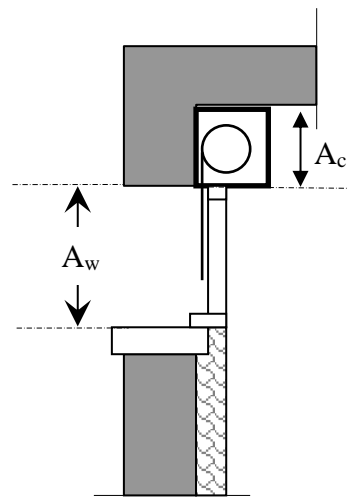


Figure 22 : Coffre de volet roulant en applique derrière linteau (à droite)

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

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

$$U_{bb,w} = \frac{U_w A_w + U_c A_c}{A_w + A_c} \quad (\text{Formule 15}) ;$$

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

U_c est le coefficient surfacique du coffre calculé au paragraphe 3.2.6.1.1, en $W/(m^2.K)$;

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

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

3.2.5.1.2 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau (cf. *Figure 22*)

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 3.2.6.1.2. :

$$U_{bb,w} = U_w \quad (\text{Formule 16}) ;$$

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

3.2.5.2.1 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant s'inscrit dans la surface du tableau de la baie (cf. *Figure 21*)

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

$$U_{bb,ws} = \frac{U_{ws} A_w + U_c A_c}{A_w + A_c} \quad (\text{Formule 17}) ;$$

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

U_c est le coefficient surfacique du coffre calculé au § 3.2.6.1.1, en $W/(m^2.K)$;

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

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

3.2.5.2.2 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau (cf. *Figure 22*)

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 § 3.2.6.1.2. :

$$U_{bb,ws} = U_{ws} \quad (\text{Formule 5}) ;$$

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

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

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

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

Dans ce cas, le coefficient U_{bb} ne s'applique qu'à la surface de paroi vitrée (A_w) prise sous le coffre de volet roulant. Ce dernier doit être considéré comme une paroi opaque et doit être calculé selon le § 3.2.1.3. :

$$S_{bb,ws} = S_{ws} \quad (\text{Formule 18}) ;$$

3.2.5.4 *Facteur de transmission lumineuse $TL_{bb,w}$ et $TL_{bb,ws}$ des blocs-baies*

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

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

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

Dans ce cas, le coefficient U_{bb} ne s'applique qu'à la surface de paroi vitrée (A_w) prise sous le coffre de volet roulant. Ce dernier doit être considéré comme une paroi opaque et doit être calculé selon le § 3.2.1.4. :

$$TL_{bb,ws} = TL_{ws} \quad (\text{Formule 19}) ;$$

3.2.6 COFFRES DE VOLET ROULANT

3.2.6.1 Coefficient de transmission thermique U_c des coffres de volet roulant

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

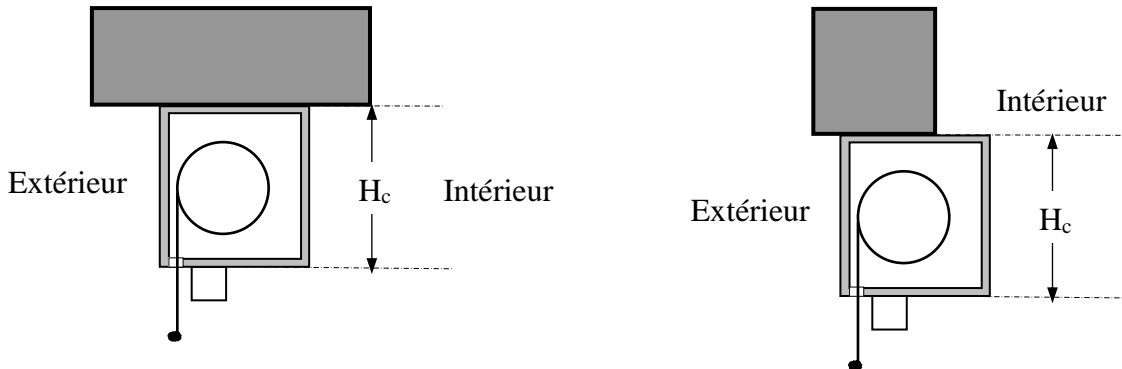


Figure 23 - Coffres sous dalle ou sous linteau

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

Ces surfaces sont généralement :

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

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

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

$$U_c = U_{c1} + U_e \frac{2 A_e}{A_c} \quad (\text{Formule 20}) ;$$

où

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

U_{c1} est le coefficient surfacique moyen en partie courante du coffre en $W/(m^2.K)$; il doit être déterminé par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10077-2 et NF EN ISO 10211 ;

$$U_{c1} = \frac{\varphi}{H_c \times \Delta T} \quad (\text{Formule 21}) ;$$

où

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

H_c est la hauteur projetée du coffre, en m ;

ΔT est la différence de température, en K.

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

$$U_e = \frac{1}{0,26 + \sum \frac{d_j}{\lambda_j}} \quad (\text{Formule 22}) ;$$

où

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

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

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

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

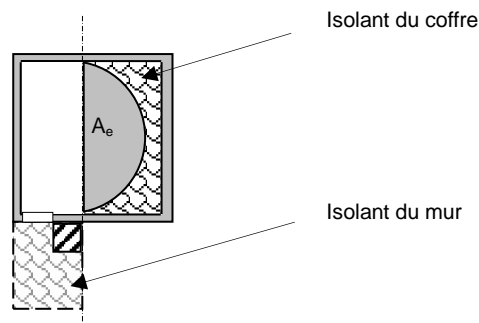


Figure 24 : Surface A_e pour un coffre derrière linteau en isolation par l'intérieur

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

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

Les conditions aux limites sont données ci-après :

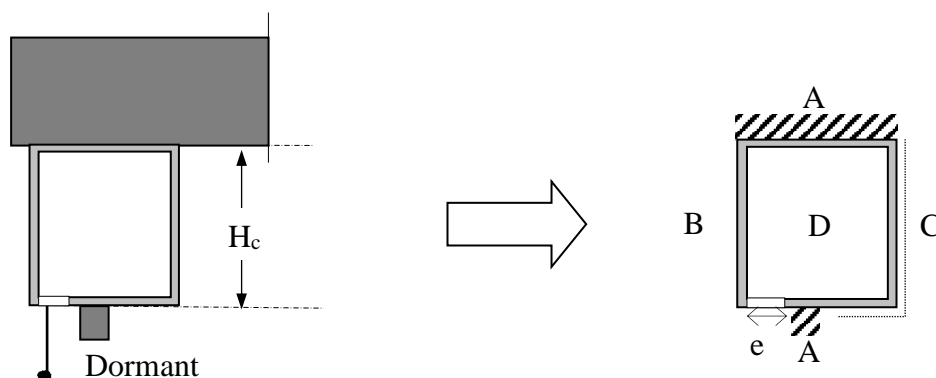


Figure 25 : Condition aux limites du coffre de volet roulant

Où :

- A est la condition adiabatique aux contacts entre le coffre et :
 - le dormant de la menuiserie (si largeur non connue prendre 60 mm) ;
 - la paroi verticale ou horizontale ;
- B est la résistance superficielle extérieure, $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$;
- C est la résistance superficielle intérieure, normale, $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$;
- D est la cavité du coffre considérée :
 - partiellement ventilée, si $e \leq 35 \text{ mm}$;
 - en ambiance extérieure et résistance superficielle intérieure (R_{si}, T_e), si $e > 35 \text{ mm}$;
 - non ventilée, si $e = 0$;
- e est l'ouverture entre la face avant et la sous face sans prendre en compte le tablier, sauf si le coffre a un dispositif d'étanchéité complet.

Pour le traitement des cavités, on applique la norme NF EN ISO 10077-2

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

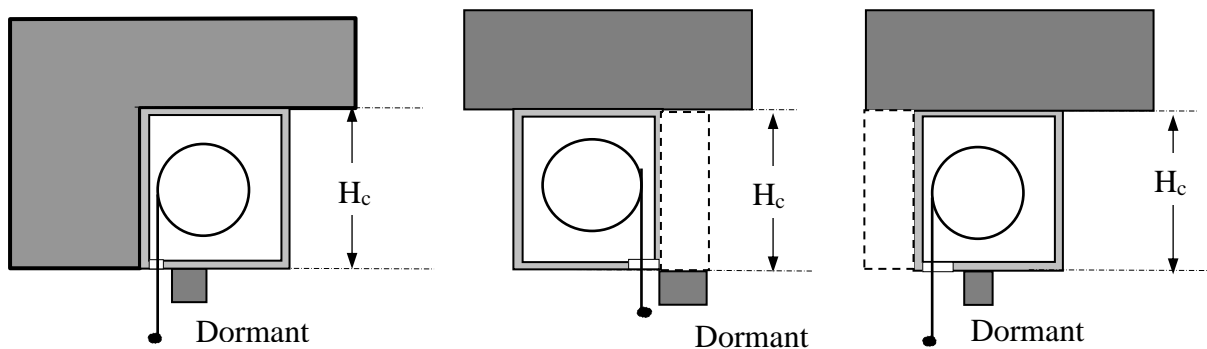


Figure 26 - Coffre derrière linteau ou sous linteau associé à une isolation thermique intérieure ou extérieure

A l'endroit du coffre, on calcule un coefficient U_p de la paroi opaque intégrant le coffre. La méthode de calcul est identique à celle du coefficient U_c :

$$U_p = U_{p1} + U_e \frac{2 A_e}{A_c} \quad (\text{Formule 23}) ;$$

$$U_{p1} = \frac{\varphi}{H_c \times \Delta T} \quad (\text{Formule 24}) ;$$

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 3.2.6.1.1.

3.2.6.1.3 Expression des résultats

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

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

3.2.6.2 Facteur de transmission solaire S_c ou S_p des coffres de volet roulant

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

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

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

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

3.2.6.3 Facteur de transmission lumineuse TL_c ou TL_p des coffres de volet roulant

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

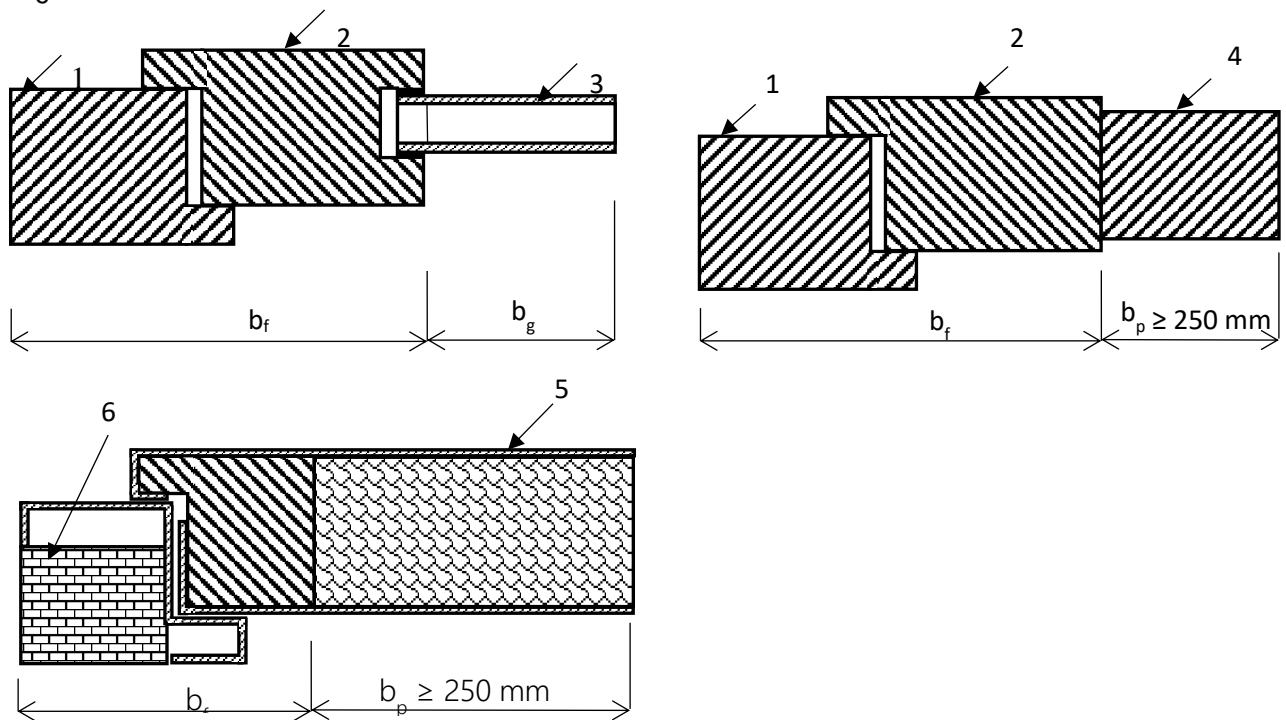
3.2.7 PORTES

3.2.7.1 Coefficient de transmission thermique U_d

3.2.7.1.1 Porte d'entrée ou porte palière

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

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



Légende

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

Figure 27 : Exemple de porte intégralement vitrée ou comportant du vitrage et des panneaux opaques

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

$$U_d = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_p A_p + \sum U_{fi} A_{fi} + \sum \Psi_g \ell_g + \sum \Psi_p \ell_p}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_{fi}} \quad \text{W/(m}^2\cdot\text{K)} \quad (\text{Formule 25}) ;$$

avec :

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

$$U_{fi} = \frac{\frac{\Phi_{fi}}{\Delta T} - U_{p1} \cdot b_p}{b_{fi}} \quad W/(m^2.K) \quad (\text{Formule 26}) ;$$

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

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

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

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

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

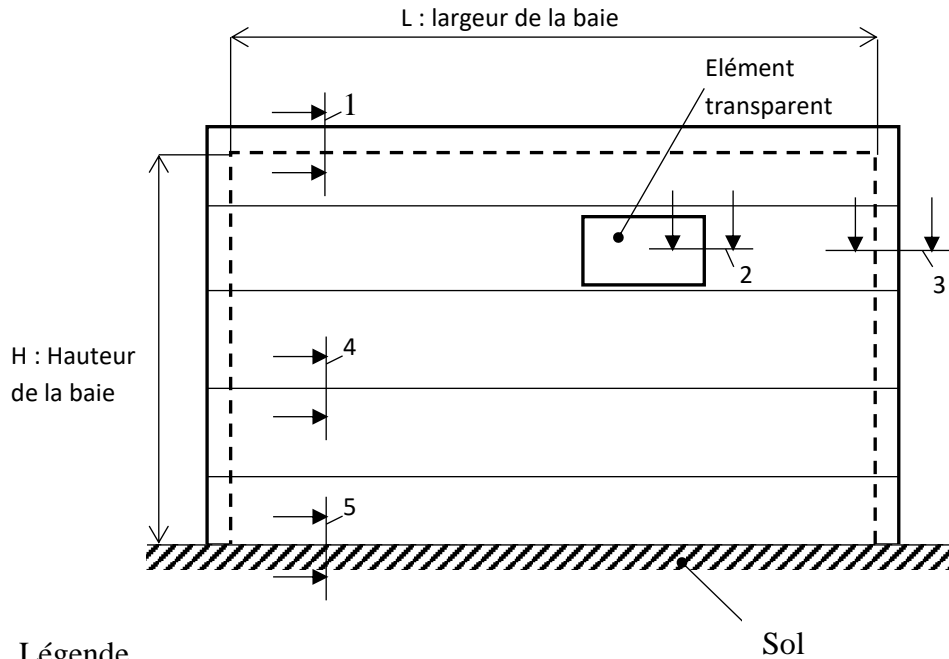
- A_{fi} : surface du montant ou de la traverse numéro i . La largeur des montants latéraux est supposée prolongée sur toute la hauteur de la fenêtre ;
- A_f : la plus grande surface de la menuiserie vue des deux côtés intérieur et extérieur, en m^2 ;
- Ψ_g : coefficient de transmission thermique linéique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

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

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

3.2.7.1.3 Porte industrielle ou porte de garage

Le coefficient de transmission surfacique moyen d'une porte industrielle ou d'une porte de garage peut être déterminé soit par calcul conformément à la méthode donnée ci-après (conforme à la norme NF EN ISO 12428), soit par mesure à la boîte chaude gardée selon la norme NF EN ISO 12567-1. Cependant les résultats de mesure à la boîte chaude gardée ne sont généralement valables que pour l'éprouvette mesurée et ne peuvent par conséquent être étendus à d'autres portes.



Légende

- 1 Espace entre le bord supérieur de la porte et la baie
- 2 Jonction autour de l'élément transparent et du panneau
- 3 Espace entre le côté de la porte et la baie
- 4 Jonction entre les panneaux
- 5 Espace entre le bord inférieur de la porte et le sol

Figure 28 : Schéma d'une porte industrielle ou d'une porte de garage (vue de l'intérieur)

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

$$U_d = \frac{U_g A_g + U_p A_p + \Psi_{\text{jonction}} \ell_{\text{jonction}}}{A_g + A_p} + \Delta U_{\text{tb}} + h_c \quad \text{W/(m}^2\cdot\text{K)} \quad \text{(Formule 27) ;}$$

avec :

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

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

$$\Psi_{\text{jonction_panneau / mur(sol)}} = \frac{\Phi_2}{\Delta T} - U_p \cdot l_p \quad \text{W/(m.K)} \quad \text{(Formule 28);}$$

$$\Psi_{\text{jonction_panneau / panneau}} = \frac{\Phi_2}{\Delta T} - U_{p1} \cdot l_{p1} - U_{p2} \cdot l_{p2} \quad \text{W/(m.K)} \quad \text{(Formule 29);}$$

Avec :

- Φ_2 : flux total à travers la section, obtenu par calcul numérique, en W/m ;
- ΔT : la différence de température, en K ;
- U_p, U_{p1}, U_{p2} : coefficient surfacique de transmission thermique du (ou des) panneau(x), en W/(m².K) ;
- l_p, l_{p1}, l_{p2} : la plus grande longueur visible du (ou des) panneau(x) vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi en m. Avec $l_p \geq 250$ mm, $l_{p1} \geq 250$ mm et $l_{p2} \geq 250$ mm.
- l_{jonction} : le plus grand périmètre de toutes les jonctions (éléments transparents, bord supérieur/inférieur /latéraux de la porte) vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi ;
- $\Delta U_{\text{tb}} + h_c$: l'effet des ponts thermiques (tb) et des éléments de quincaillerie (h_c), en W/(m².K).
 $\Delta U_{\text{tb}} + h_c = 0,1$ W/(m².K)

3.2.7.2 *Facteur de transmission solaire S_d des portes*

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

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

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

Avec :

- α le coefficient d'absorption en partie courante de la porte
- h_e est le coefficient d'échange superficiel, pris égal à 25 W/(m².K)

3.2.7.3 *Facteur de transmission lumineuse TL_d des portes*

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

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

3.2.8 PLAQUE DE POLYCARBONATE SEULE

3.2.8.1 Coefficient de transmission thermique U_t

Dans le cas d'un calcul de consommation ou de confort à l'échelle du bâtiment, il est nécessaire de fournir des valeurs de coefficients U_t à l'horizontale (noté $U_{t,0^\circ}$ dans la suite du paragraphe) et à la verticale (noté $U_{t,90^\circ}$ dans la suite du paragraphe).

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

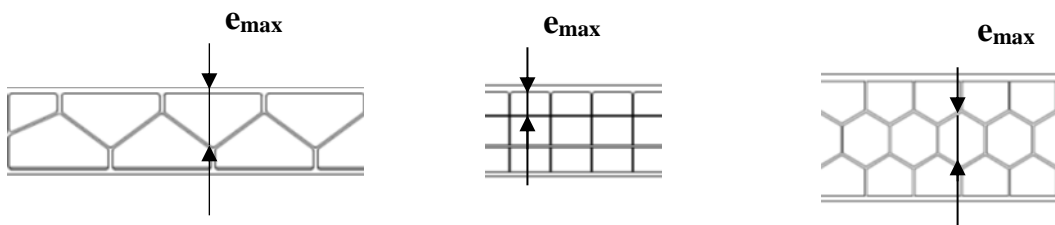
a – Dans le cas général d'un produit marqué CE, le coefficient surfacique utile de la plaque prend la valeur suivante :

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

$U_{t,d}$ étant le coefficient de transmission surfacique de la plaque, déclaré dans le cadre du marquage CE selon la norme NF EN 16153.

Dans le cas où le coefficient de transmission surfacique de la plaque est déclaré en position verticale, il est possible de déduire le coefficient de transmission surfacique en position horizontale en appliquant les formules suivantes :

| Epaisseur maxi e_{max} des alvéoles en mm | Formule |
|---|---|
| ≤ 10 | $U_{t,0^\circ} = \frac{1}{\frac{1}{U_{t,90^\circ}} - 0.03}$ |
| > 10 mm | $U_{t,0^\circ} = 1,6 \cdot U_{t,90^\circ}$ |



Dans le cas où le sens du flux n'est pas précisé dans la déclaration de performance, on supposera : $U_{t,d} = U_{t,90^\circ}$.

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

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

(Formule 30) ;

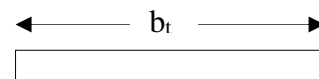


Figure 29 : Modèle numérique de la plaque translucide

où

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

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

b_t la longueur du modèle, en m.

La conductivité thermique des alvéoles d'air est déterminée selon la méthode utilisée pour les profilés de menuiserie en considérant une direction de flux ascendant dans le cas de plaques horizontales et une direction de flux horizontale dans le cas de plaques verticales.

3.2.8.2 Calcul du facteur de transmission solaire S_t

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

$$S_{t1} = F_{iv-PCA}^{fs} \times \tau_{e,n-h} \quad (\text{Formule 31}) ;$$

$$S_{t2} = F_{iv-PCA}^{fs} \times q_i \quad (\text{Formule 32}) ;$$

Où :

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

3.2.8.3 Calcul du facteur de transmission lumineuse TL_t

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

$$TL_t = \tau_{v,n-h} \quad (\text{Formule 33}) ;$$

$$TL_{t_dif} = \tau_{v,n-h} - \tau_{v,n-n} \quad (\text{Formule 34}) ;$$

Où :

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

3.2.9 LANTERNEAUX

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

3.2.9.1 Lanterneaux ponctuels sans vitrage isolant additionnel

3.2.9.1.1 Coefficient de transmission thermique U_w

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

$$U_{\text{utile}} = C \times U_{rc} \quad (\text{Formule 35});$$

$$C = A_{rc}/A_p \quad (\text{Formule 36}) ;$$

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

U_{rc} étant la valeur déclarée de la transmission surfacique du lanterneau, déterminée conformément à la norme EN 1873 (cf. §. 3.1.4).

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

En l'absence de valeurs mesurées selon la norme NF EN ISO 12567-2 ou calculées selon la présente méthode, des valeurs par défaut sont données dans le document Applications - Parois vitrées au §3.2.9.



Figure 30- Lanterneau ponctuel

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

$$U_w = \frac{U_t A_t + \psi_1 L_1 + \psi_2 L_2}{A_p} \quad (\text{Formule 37}) ;$$

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

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

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

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

U_t est le coefficient surfacique en partie centrale de la plaque translucide en $W/(m^2.K)$, voir §3.2.8.1 :

Ψ_1 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière, le profil de rive et leur jonction avec la plaque translucide, exprimé en $W/(m.K)$. Ψ_1 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_g = 190$ mm):

$$\Psi_1 = \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_t \times l_t \quad (\text{Formule 38}) ;$$

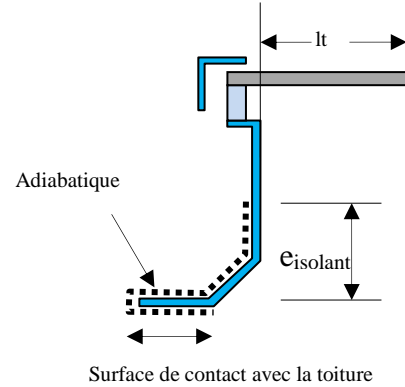


Figure 31 : Coupe transversale au niveau de la costière

Ψ_2 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé central pour lanterneau à deux vantaux, exprimé en $W/(m.K)$. Ψ_2 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_t = 190$ mm):

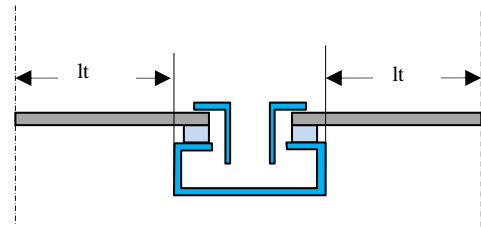


Figure 32 : Coupe transversale au niveau du profilé central

$$\Psi_2 = \frac{\Phi_2}{\Delta T} - 2 \times U_t \times l_t \quad (\text{Formule 39}).$$

3.2.9.1.2 Calcul du facteur de transmission solaire S_w

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

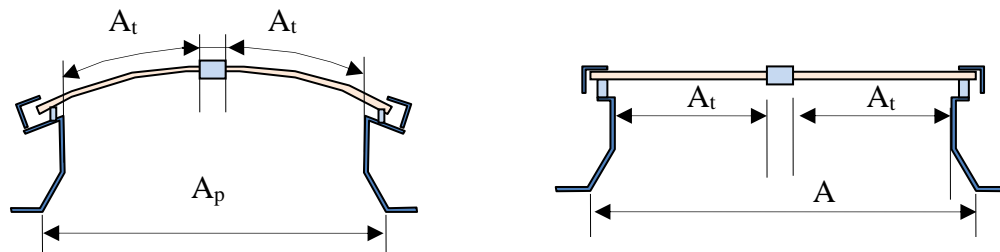


Figure 33 : Dimensions d'un lanterneau ponctuel

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

$$S_{w1} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{t1} \quad (\text{Formule 40}) ;$$

$$S_{w2} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{t2} + \frac{\alpha_{e2} \cdot L_2 \cdot \Psi_2}{A_p \cdot h_e} + \frac{\alpha_{e1} \cdot L_1 \cdot \Psi_1}{A_p \cdot h_e} \cdot r_v \quad (\text{Formule 41}) ;$$

Où :

- **S_{t1}** est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde, déterminé au paragraphe 3.2.8.2 pour une paroi horizontale,
 - **S_{t2}** est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur, déterminé au paragraphe 3.2.8.2 pour une paroi horizontale
 - **A_t** est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide, vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m².
 - **A_p** est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m².
 - **h_e** est le coefficient de transmission thermique superficielle extérieur, calculé en conditions C.
 - **r_v** est le rapport entre l'énergie solaire annuelle incidente sur les faces verticales de la costière et l'énergie solaire annuelle incidente sur la plaque horizontale.
 - **L₁** est le périmètre intérieur de la costière, exprimé en m.
 - **α_{e1}** est le coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière.
 - **Ψ₁** est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière, exprimé en W/(m.K) et calculé selon le §3.2.9.1.1.
 - **L₂** est la longueur du profil central pour des lanterneaux à deux vantaux, exprimée en m.
 - **α_{e2}** est le coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé central, pour les lanterneaux à deux vantaux.
- Ψ₂** est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé central, pour les lanterneaux à deux vantaux, exprimé en W/(m.K) et calculé selon le §3.2.9.1.1.

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

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

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

$$r_v = 0,55$$

3.2.9.1.3 Calcul du facteur de transmission lumineuse T_{li}

3.2.9.1.3.1 Ensemble du lanterneau

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

$$T_{li_{sp,b}} = F_{forme_LT} \cdot (R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl}_{cost_dir} \cdot F^{fl}_{rivLT_dir} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl}_{cost_dif} \cdot F^{fl}_{rivLT_dif}) \times TL_t \quad \text{(Formule 42) ;}$$

$$T_{lid_{sp,b}} = F_{forme_LT} \cdot (R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl}_{cost_dir} \cdot F^{fl}_{rivLT_dir} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl}_{cost_dif} \cdot F^{fl}_{rivLT_dif}) \times TL_{t_dif} \quad \text{(Formule 43) ;}$$

Où :

- F_{forme_LT} est le coefficient correctif pour prendre en compte une éventuelle variation de section du lanterneau le long de son axe vertical (§3.2.9.1.3.3) ;
- $F^{fl}_{cost_dir}$ et $F^{fl}_{cost_dif}$ sont les coefficients de correction associés à la costière, calculés selon la procédure décrite au §3.2.9.1.3.2 ;
- $F^{fl}_{rivLT_dir}$ et $F^{fl}_{rivLT_dif}$ 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 §3.2.8 ;
- 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 28 (§3.3.3.2.1).

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

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

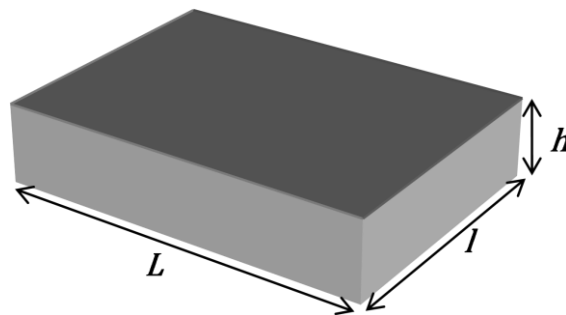


Figure 34 : Dimensions du lanterneau

$$K = \frac{L \cdot I}{h \cdot (L + I)} \quad \text{(Formule 44) ;}$$

Où :

- L et I sont la largeur et la longueur de la baie (au nu intérieur) couverte par le lanterneau, exprimées en m,
- 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 :

$$Rat_{LT} = 100 \times \frac{A_{PCA}}{L \times l} (\%) \quad (\text{Formule 45}) ;$$

Où A_{PCA} est la surface de la partie supérieure du lanterneau, intégrant le polycarbonate, exprimée en m^2 .

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

3.2.9.1.3.2 Prise en compte de la costière du lanterneau

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

Tableau 19 : Valeurs du coefficient de prise en compte de la costière pour le rayonnement direct (soleil)
 $F^{fl}_{cost_dir}$ selon la valeur de K et du facteur de réflexion ρ

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

Tableau 20 : Valeurs du coefficient de prise en compte de la costière pour le rayonnement diffus (ciel et sol)
 $F^{fl}_{cost_dif}$ selon la valeur de K et du facteur de réflexion ρ

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

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

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

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

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

Note : pour représenter la transmission directe du PCA "clair", on se réfère à la courbe générique de la Figure 35.

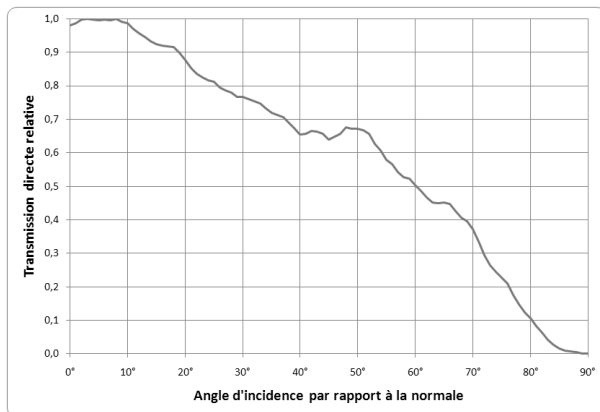


Figure 35 : Courbe générique pour la transmission directe du PCA "clair"

3.2.9.1.3.3 Prise en compte de la forme du lanterneau

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

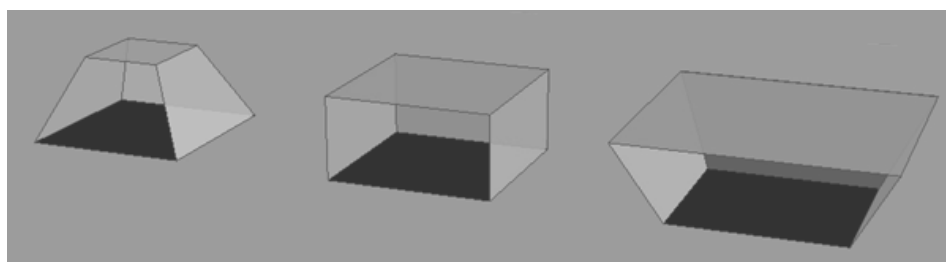


Figure 36 : Profils d'évasement de lanterneaux

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

Tableau 21 : Facteur correctif $F_{\text{forme_LT}}$ à appliquer en fonction de l'évasement du lanterneau

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

3.2.9.2 Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel

3.2.9.2.1 Coefficient de transmission thermique U_w

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

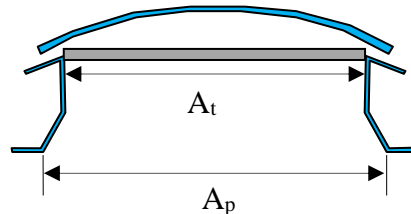


Figure 37 : Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel

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

$$U_w = \frac{U_t A_t + \Psi_c L_c}{A_p} \quad (\text{Formule 46}) ;$$

où :

- A_t est la plus petite des aires développées visibles du vitrage isolant vue des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 ;
- L_c est le périmètre intérieur de la costière, exprimé en m ;
- A_p est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m^2 ;
- U_t est le coefficient surfacique de transmission thermique en partie centrale de l'ensemble dôme et vitrage isolant, exprimé en $W/(m^2.k)$. Il est calculé suivant la méthode ci-dessous ;
- Ψ_c est le coefficient de transmission thermique linéique à-travers la costière et l'intercalaire du vitrage isolant, exprimé en $W/(m.K)$ et calculé selon les normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, en négligeant l'effet du dôme et en considérant la surface extérieure du vitrage comme fortement ventilée.

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

- Sans joint mousse :

$$U_t = U_{tv} = \frac{1}{\frac{1}{U_g} + 0,06} \quad (\text{Formule 47}) ;$$

- Avec joint mousse :

$$U_t = U_{tn} = \frac{1}{\frac{1}{U_g} + \frac{1}{h_g + h_r}} \quad (\text{Formule 48}) ;$$

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

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

3.2.9.2.2 Calcul du facteur de transmission solaire S_w

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

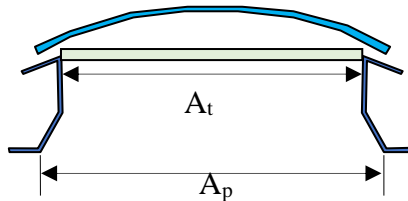


Figure 38 : Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel

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

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

$$S_{w2} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{t2} + \left(\frac{\alpha_{ec} \cdot L_c \cdot \Psi_c}{A_p \cdot h_e} \right) \cdot r_v \quad (\text{Formule 49}) ;$$

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

où :

S_{t1} est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde de l'ensemble dôme + vitrage isolant, déterminé au paragraphe 3.2.9.2.2.2.

S_{t2} est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur de l'ensemble dôme + vitrage isolant, déterminé au paragraphe 3.2.9.2.2.3.

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

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

r_v est le rapport entre l'énergie solaire annuelle incidente sur les faces verticales de la costière et l'énergie solaire annuelle incidente sur la plaque horizontale. A défaut de valeurs disponibles :
 $r_v = 0.55$.

α_{ec} est le coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière.

L_c est le périmètre intérieur de la costière, exprimé en m.

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

h_e est le coefficient de transmission thermique superficielle extérieure.

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

La composante courte longueur d'onde du facteur solaire du dôme se calcule à partir de la norme NF EN 16153+A1 et de la formule suivante :

$$S_{t1,d} = F_{iv-PCA}^{fs} \times \tau_{e,n-h} \quad (\text{Formule 50}) ;$$

où :

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

$\tau_{e,n-h}$ est le coefficient de transmission énergétique normal-hémisphérique de la plaque en matière plastique, déterminé selon la norme NF EN 16153+A1.

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

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

$$S_{t1} = \frac{S_{t1,d} \cdot \tau_{e1} \cdot \tau_{e2}}{[1 - \rho'_{ed} \cdot \rho_{e1}][1 - \rho'_{e1} \cdot \rho_{e2}] - \tau_{e1}^2 \cdot \rho'_{ed} \cdot \rho_{e2}} \quad (\text{Formule 51}) ;$$

où :

$S_{t1,d}$ est le coefficient de transmission énergétique du dôme, calculé au §3.2.9.2.2.1

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

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

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

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

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

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

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

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

- Sans joint mousse :

$$S_{t2} = S_{t1,d} \cdot S_{g2} \quad (\text{Formule 52}) ;$$

où :

$S_{t1,d}$ est le coefficient de transmission énergétique du dôme, calculé au §3.2.9.2.2.1.

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

- Avec joint mousse :

$$S_{t2} = \frac{\left(\frac{1}{U_g} - 0.14\right) \cdot \alpha_{e2} + \frac{\alpha_{e2} + \alpha_{e1}}{h_g + h_r} + \frac{\alpha_{e2} + \alpha_{e1} + \alpha_{ed}}{25}}{\frac{1}{h_g + h_r} + \frac{1}{U_g}} \quad (\text{Formule 53}) ;$$

où :

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

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

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

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

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

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

3.2.9.2.3 Calcul du facteur de transmission lumineuse T_{li}

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

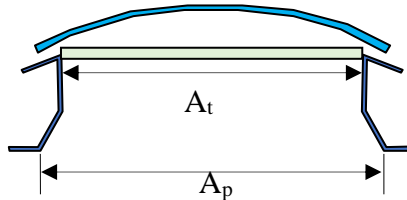


Figure 39 : Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel

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

$$\begin{aligned} T_{li_{sp,b}} &= F_{forme_{LT}} \cdot (R_{dir}^{fl} \cdot F_{cost_{dir}}^{fl} \cdot F_{rivLT_{dir}}^{fl} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F_{cost_{dif}}^{fl} \cdot F_{rivLT_{dif}}^{fl}) \cdot TL_t \\ T_{lid_{sp,b}} &= F_{forme_{LT}} \cdot (R_{dir}^{fl} \cdot F_{cost_{dir}}^{fl} \cdot F_{rivLT_{dir}}^{fl} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F_{cost_{dif}}^{fl} \cdot F_{rivLT_{dif}}^{fl}) \cdot TL_{t_{dif}} \end{aligned} \quad (\text{Formule 54}) ;$$

où :

$F_{forme_{LT}}$, R_{dir}^{fl} , $F_{cost_{dir}}^{fl}$, $F_{rivLT_{dir}}^{fl}$, $F_{cost_{dif}}^{fl}$, $F_{rivLT_{dif}}^{fl}$ sont des coefficients de correction déterminés à partir du paragraphe §3.2.9.1.3.

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

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

$$TL_t = \frac{\tau_{vd} \cdot \tau_{v1} \cdot \tau_{v2}}{[1 - \rho'_{vd} \cdot \rho_{v1}][1 - \rho'_{v1} \cdot \rho_{v2}] - \tau_{v1}^2 \cdot \rho'_{vd} \cdot \rho_{v2}} \quad (\text{Formule 55}) ;$$

où :

τ_{vd} est le coefficient de transmission visible du dôme

τ_{v1} est le coefficient de transmission visible du premier verre du vitrage isolant (entre le dôme et le verre intérieur).

τ_{v2} est le coefficient de transmission visible du second verre du vitrage isolant (verre intérieur).

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

ρ_{v1} est le coefficient de réflexion visible vers l'extérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).

ρ'_{v1} est le coefficient de réflexion visible vers l'intérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).

ρ_{v2} est le coefficient de réflexion visible vers l'extérieur du second verre (verre intérieur).

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

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

$$TL_{t,dif} = \frac{\tau_{vd,dif} \cdot \tau_{v1} \cdot \tau_{v2}}{[1 - \rho'_{vd} \cdot \rho_{v1}][1 - \rho'_{v1} \cdot \rho_{v2}] - \tau_{v1}^2 \cdot \rho'_{vd} \cdot \rho_{v2}} \quad (\text{Formule 56}) ;$$

où :

$\tau_{vd,dif}$ est la composante diffusée du coefficient de transmission visible du dôme.

τ_{v1} est le coefficient de transmission visible du premier verre du vitrage isolant (entre le dôme et le verre intérieur).

τ_{v2} est le coefficient de transmission visible du second verre du vitrage isolant (verre intérieur).

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

ρ_{v1} est le coefficient de réflexion visible vers l'extérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).

ρ'_{v1} est le coefficient de réflexion visible vers l'intérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).

ρ_{v2} est le coefficient de réflexion visible vers l'extérieur du second verre (verre intérieur).

3.2.9.3 Lanterneaux filants sans vitrage isolant additionnel

3.2.9.3.1 Coefficient de transmission thermique U_w

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

$$U_{w \text{ utile}} = C \times U_w \text{ déclaré} \quad (\text{Formule 57});$$

$$C = A_d/A_p \quad (\text{Formule 58});$$

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

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

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

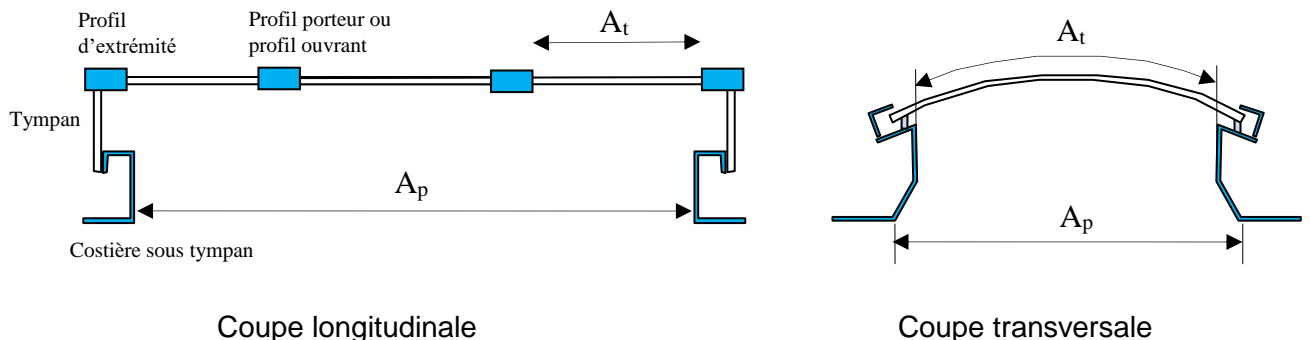


Figure 40- Lanterneau filant

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

$$U_w = \frac{\sum U_t A_t + \psi_1 L_1 + \psi_2 L_2 + \psi_3 L_3 + \psi_4 L_4}{A_p} \quad (\text{Formule 59});$$

- A_t est la plus petite des aires développées visibles de chaque plaque translucide composant le lanterneau, vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 ;
- L_1 est la longueur de la costière longitudinale vue de l'intérieur, exprimé en m ;
- L_2 est la longueur du profil porteur, exprimée en m ;
- L_3 est la longueur du profil d'extrémité, exprimée en m ;
- L_4 est la longueur de la costière sous tympans vue de l'intérieur, exprimée en m ;
- A_p est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m^2 ;
- U_t est le coefficient surfacique en partie centrale de chaque plaque translucide en $W/(m^2.K)$. Son mode de calcul est donné au paragraphe 3.2.8.1.

Ψ_1 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière, le profilé de rive et leur jonction avec la plaque translucide, exprimé en W/(m.K). Ψ_1 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_g = 190$ mm):

$$\Psi_1 = \frac{\Phi_1}{\Delta T} - U_t \times l_t \quad (\text{Formule 60}) ;$$

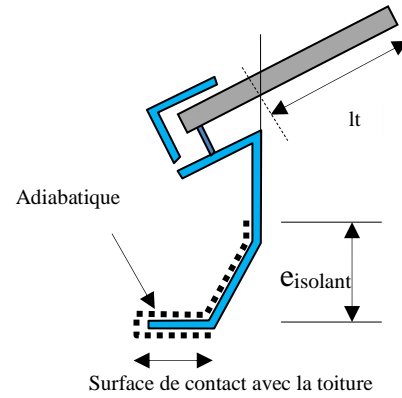


Figure 41- Coupe transversale au niveau de la costière

Ψ_2 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profil porteur ou le profil ouvrant, exprimé en W/(m.K). Ψ_2 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_t = 190$ mm):

$$\Psi_2 = \frac{\Phi_2}{\Delta T} - 2 \times U_t \times l_t \quad (\text{Formule 61}) ;$$

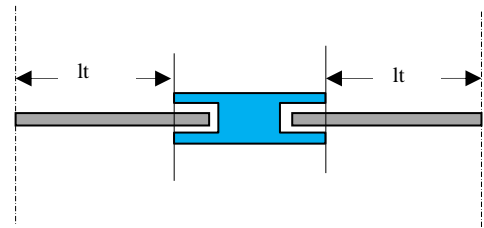


Figure 42 - Coupe transversale au niveau du profil porteur ou profil ouvrant

Ψ_3 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profil d'extrémité, exprimé en W/(m.K). Ψ_3 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre $l_t = 190$ mm):

$$\Psi_3 = \frac{\Phi_3}{\Delta T} - (U_{t1} + U_{t2}) \times l_t \quad (\text{Formule 62}) ;$$

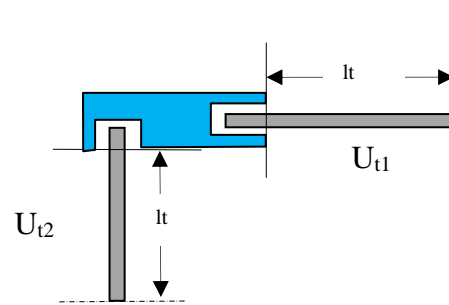


Figure 43 - Coupe transversale au niveau du profil d'extrémité

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

$$\Psi_4 = \frac{\Phi_4}{\Delta T} - U_t \times l_t \quad (\text{Formule 63}) ;$$

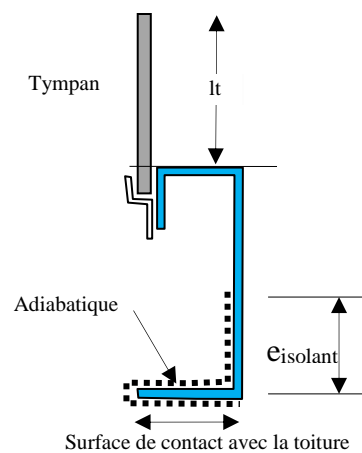


Figure 44 - Coupe transversale au niveau de la costière sous tympan

3.2.9.3.2 Calcul du facteur de transmission solaire S_w

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

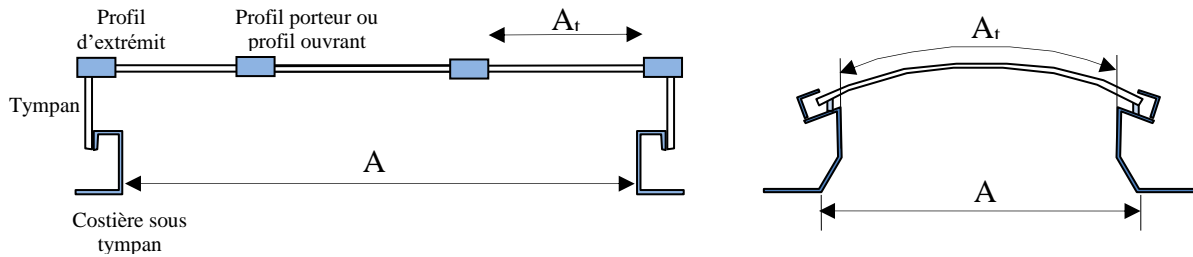


Figure 45 : Dimensions d'un lanterneau filant

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

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

$$S_{w1} = \frac{\sum_i A_{t,i} \times S_{t2,i}}{A_p} + \frac{\alpha_{e2} \cdot L_2 \cdot \Psi_2 + \alpha_{e3} \cdot L_3 \cdot \Psi_3}{A_p \cdot h_e} + \left(\frac{\alpha_{e1} \cdot L_1 \cdot \Psi_1 + \alpha_{e4} \cdot L_4 \cdot \Psi_4}{A_p \cdot h_e} \right) \cdot r_v \quad (\text{Formule 65}) ;$$

Où :

- $S_{t1,i}$ est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde de chaque plaque i , déterminé au paragraphe 3.2.8.2 en fonction de son orientation
- $S_{t2,i}$ est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur de chaque plaque i , déterminé au paragraphe 3.2.8.2 en fonction de son orientation
- $A_{t,i}$ est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide i , vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 .
- A_p est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m^2 .
- h_e est le coefficient de transmission thermique superficielle extérieur, calculé en condition hivernale.
- r_v est le rapport entre l'énergie solaire annuelle incidente sur les faces verticales de la costière et l'énergie solaire annuelle incidente sur la plaque horizontale.
- L_1 est le périmètre intérieur de la costière longitudinale, exprimé en m.
- α_{e1} est le coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière longitudinale.
- Ψ_1 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière longitudinale, exprimé en $W/(m.K)$.
- L_2 est la longueur du profilé porteur ou le profilé ouvrant, exprimée en m.
- α_{e2} est le coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé porteur ou du profilé ouvrant. Ψ_2 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé porteur ou le profilé ouvrant, exprimé en $W/(m.K)$

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

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

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

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

$$r_v = 0,55$$

3.2.9.3.3 *Calcul du facteur de transmission lumineuse Tli*

Les facteurs de transmission lumineuse déclarés dans le cadre du marquage CE se limitent aux caractéristiques des éléments de remplissage des lanterneaux. Pour tenir compte de l'effet des costières et de la forme du lanterneau, les méthodes du §3.2.9.1.3. doivent être utilisées.

3.2.10 BARDAGES ET COUVERTURES EN POLYCARBONATE

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

En particulier, les bardages double-peau ventilés naturellement ou mécaniquement ne sont pas traités. Les hypothèses suivantes sont de plus appliquées :

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

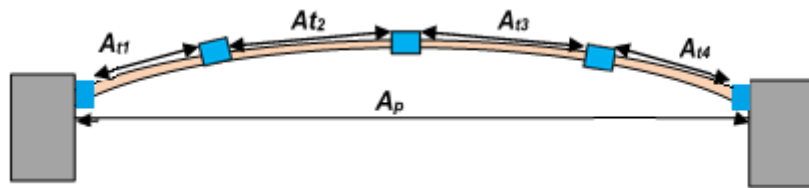


Figure 46: Dimensions des verrières et bardages en polycarbonate, pose en tunnel

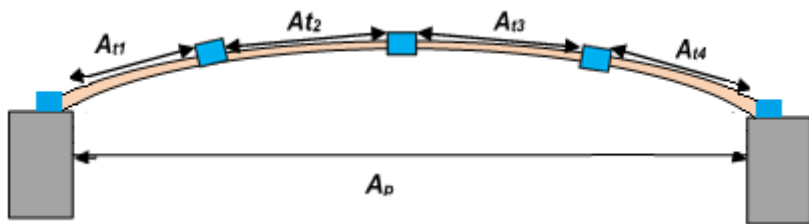


Figure 47: Dimensions des verrières et bardages en polycarbonate, pose en applique

Dans le cas où l'angle d'inclinaison entre deux facettes est inférieur à 10° , l'approximation d'une surface plane est possible, soit :

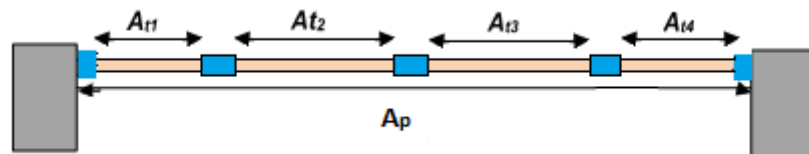


Figure 48: Dimensions des verrières et bardages en polycarbonate, pose en tunnel, approximation surface plane

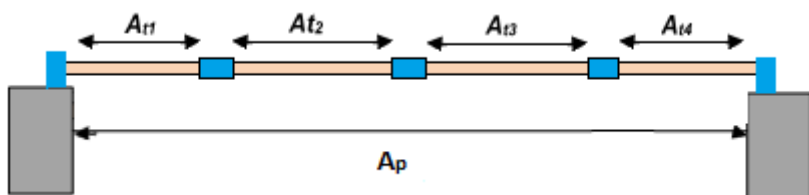


Figure 49: Dimensions des verrières et bardages en polycarbonate, pose en applique, approximation surface plane

3.2.10.1 Coefficient de transmission thermique U_w

Le coefficient de transmission thermique U_w des bardages et couvertures en polycarbonate se calcule selon la formule suivante :

$$U_w = \frac{\sum_i A_{t_i} U_{t_i} + \sum_j L_{f_j} \psi_{f_j} + \sum_k \chi_{patte_k} + L_{rive} \cdot \Psi_{rive} + L_{about} \cdot \Psi_{about}}{A_p} \quad (\text{Formule 66}) ;$$

Avec :

A_{t_i} : plus petite des aires développées visibles du panneau de polycarbonate i , vues des deux côtés de la paroi, en m^2 ,

A_p : aire intérieure plane de l'ouverture, couverte par la toiture en polycarbonate, en m^2 ,

L_{f_j} : linéaire du profilé d'emboîtement j entre panneaux, en m ,

U_{t_i} : coefficient de transmission thermique en partie courante du panneau i , en $W/(m^2.K)$, son mode de calcul est donné au paragraphe 3.2.8.1.

ψ_{f_j} : coefficient de transmission linéique du pont thermique établis sur la base de la convention de calcul de la norme NF EN ISO 10077-2 et présent au niveau de l'emboîtement j de deux panneaux, en $W/(m.K)$, déterminé à l'aide d'un modèle numérique 2D et à partir de la formule suivante :

$$\psi_f = \frac{\phi}{\Delta T} - 2 \times l_t \times U_t \quad (\text{Formule 67}) ;$$

ϕ : flux thermique traversant le modèle numérique 2D représentant l'emboîtement entre deux panneaux, pour une profondeur de modèle de 1 m, en W/m ,

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

U_t : coefficient de transmission thermique du modèle numérique des éléments de panneaux adjacents à l'emboîtement, en $W/(m^2.K)$,

l_t : plus petite largeur de panneau de polycarbonate visible sur l'un des côtés du modèle numérique, en m ,

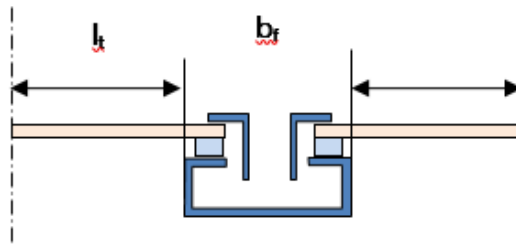


Figure 50: Schéma du profilé de jonction centrale

Si la description du profilé de jonction centrale n'est pas disponible, on peut considérer une valeur par défaut telle que $\psi_f = 0,25 W/(m.K)$.

$\chi_{patte k}$: Coefficient de transmission ponctuel du pont thermique établis sur la base de la convention de calcul de la norme 10211 et présent au niveau de la patte de fixation k , en W/K , calculé à partir d'un modèle numérique tridimensionnel et de la formule suivante :

$$\chi_k = \frac{\Phi_{PT} - \Phi_{SPT}}{\Delta T} \quad (\text{Formule 68}) ;$$

Φ_{PT} : flux thermique traversant le modèle numérique 3D représentant l'emboîtement entre deux panneaux munis d'un crochet de dépression, en W,

Φ_{SPT} : flux thermique traversant le modèle numérique 3D représentant l'emboîtement entre deux panneaux sans crochet de dépression, en W,

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

En pratique et de manière à éviter les modélisations 3D avec ces géométries complexes, on utilisera prioritairement les valeurs par défauts suivantes :

| Nature patte de fixation | Aluminium | Inox |
|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Emboîtement avec profilé | $\chi_{patte} = 0,060 \text{ W/K}$ | $\chi_{patte} = 0,025 \text{ W/K}$ |

Ψ_{rive} : Coefficient de transmission thermique linéique dû à la liaison entre la paroi en PCA et le mur support en rive, établis sur la base de la convention de calcul de la norme 10077-2 et déterminé à l'aide d'un modèle numérique 2D et par la formule suivante :

$$\Psi_{rive} = \frac{\phi}{\Delta T} - l_t \cdot U_t \quad (\text{Formule 69}) ;$$

ϕ : flux linéique traversant le modèle représentant la liaison et dans lequel les éléments supports sont remplacés par des surfaces adiabatiques, en W/m,

l_t : plus petite largeur de panneau de polycarbonate visible des deux côtés du modèle numérique, en m (considérer $l_t = 0,19 \text{ m}$)

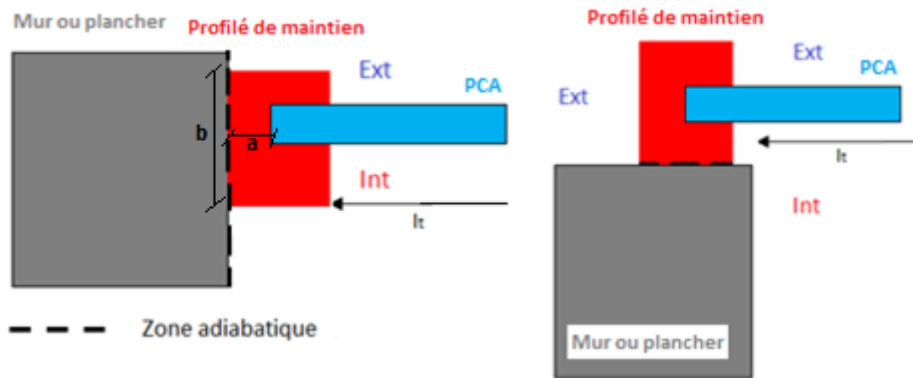


Figure 51: Schéma de pose en tunnel et en applique d'un panneau de PCA en rive

Ψ_{about} : Coefficient de transmission thermique linéique dû à la liaison entre la paroi en PCA et le mur support en about, établis sur la base de la convention de calcul de la norme 10077-2 et déterminé à l'aide de modèles numériques 2D et 3D et par la formule suivante :

$$\Psi_{about} = \Psi_0 + \frac{\chi_{crois}}{L} \quad (\text{Formule 70}) ;$$

L : Largeur des panneaux PCA, en m,

Ψ_0 : Coefficient de transmission thermique linéique dû à la liaison entre la paroi en PCA et le mur support en partie courante de la liaison en about, établis sur la base de la convention de calcul de la norme 10077-2 et déterminé à l'aide d'un modèle numérique 2D et par la formule suivante :

$$\Psi_0 = \frac{\phi}{\Delta T} - l_t \cdot U_t \quad (\text{Formule 71}) ;$$

ϕ : flux linéique traversant le modèle représentant la liaison et dans lequel les éléments supports sont remplacés par des surfaces adiabatiques, en W/m,

l_t : plus petite largeur de panneau de polycarbonate visible des deux côtés du modèle numérique, en m (considérer $l_t = 0,19\text{ m}$)

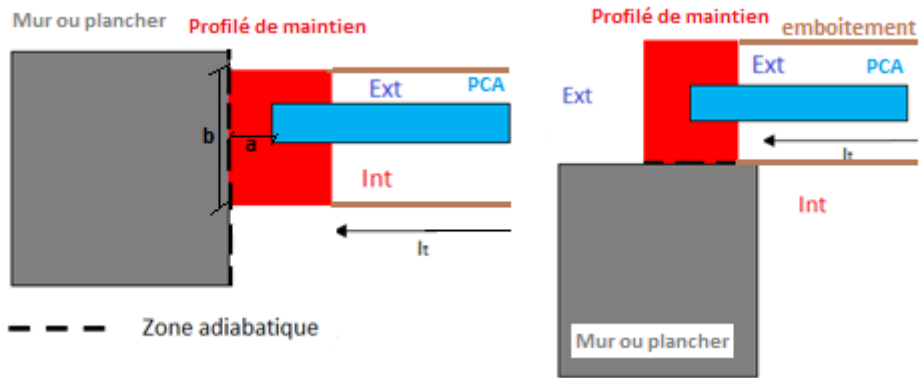


Figure 52: Schéma de pose en tunnel et en applique d'un panneau de PCA en about

χ_{crois} : est le pont thermique ponctuel du au croisement entre le profilé central assurant l'emboitement entre panneau PCA et le profilé d'about, établis sur la base de la convention de calcul de la norme 10211 et déterminé par un modèle 3D et la formule suivante :

$$\chi_{crois} = \frac{\Phi - \Phi_{SPT}}{\Delta T} \quad (\text{Formule 72}) ;$$

Φ : flux thermique traversant le modèle représentant la liaison et dans lequel les éléments supports sont remplacés par des surfaces adiabatiques, en W,

Φ_{SPT} : flux thermique traversant le même modèle représentant la liaison et dans lequel la liaison entre profilés est remplacée par un bloc adiabatique, en W,

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

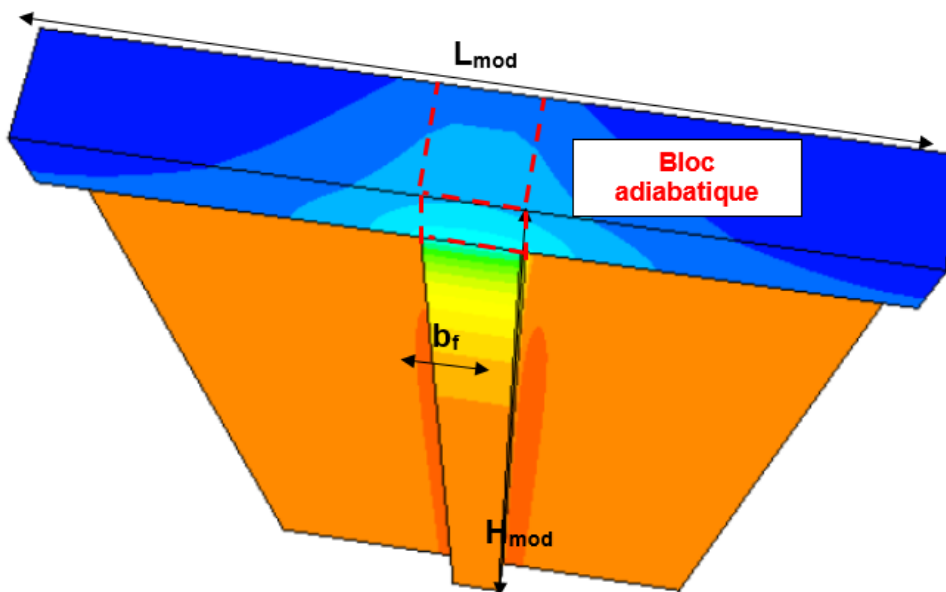


Figure 53: Image thermique du pont thermique ponctuel de croisement

Si la jonction en rive et en about n'est pas décrite, il est possible d'utiliser les valeurs par défauts suivantes :

| Mode de pose | Ψ rive [W/(m.K)] | Ψ about [W/(m.K)] |
|------------------|-----------------------|------------------------|
| Pose en applique | 0,30 | 0,40 |
| Pose en tunnel | 0,50 | 0,60 |

Dans le cas de la pose en tunnel, ces valeurs sont valables si $a \leq 4\text{cm}$ et $b \geq 5\text{cm}$. Sinon la valeur à considérer est de 1 W/(m.K)

3.2.10.2 Calcul du facteur de transmission solaire S_w

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

$$S_{w1} = \frac{\sum_i A_{g,i} \cdot St_{1,i}}{A_p} \quad (\text{Formule 73}) ;$$

$$S_{w2} = \frac{\sum_i A_{g,i} \cdot St_{1,i}}{A_p} + \frac{\alpha_{ef} \cdot L_f \cdot \psi_f}{A_p \cdot h_e} \quad (\text{Formule 74}) ;$$

Où :

$St_{1,i}$ est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde de chaque plaque i , déterminé au paragraphe 3.2.8.2 en fonction de son orientation

$St_{2,i}$ est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur de chaque plaque i , déterminé au paragraphe 3.2.8.2 en fonction de son orientation

$A_{g,i}$ est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide i , vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 .

A_p est l'aire intérieure plane de l'ouverture, exprimée en m^2 .

h_e est le coefficient de transmission thermique superficielle extérieur, calculé en condition hivernale.

L_f est la longueur du profilé d'emboîtement, exprimé en m .

α_{ef} est le coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé d'emboîtement

ψ_f est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé d'emboîtement, exprimé en W/(m.K) .

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

$$\alpha_{ef} = 0,60 \text{ et } h_e = 25 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

3.2.10.3 Calcul du facteur de transmission lumineuse T_{lw}

Les plaques de polycarbonates étant jointes sans pièces opaques, le calcul de la transmission lumineuse T_{lw} se fait par la formule suivante :

$$T_{Lw} = \frac{\sum_i A_{t,i} \cdot T_{L_t,i}}{A_p} \quad (\text{Formule 75}) ;$$

$$T_{L_t} = F_{iv-PCA}^{fl} \times \tau_{v,n-h} \quad (\text{Formule 76}) ;$$

Avec :

$A_{t,i}$: Plus petite des aires développées visibles du panneau de polycarbonate i , vues des deux côtés de la paroi, en m^2 ,

A_p : Aire intérieure plane de l'ouverture, exprimée en m^2 ,

F_{iv-PCA}^{fl}

Coefficient de correction pour la prise en compte de l'incidence variable du polycarbonate horizontal, égal à 0,85,

$tv,n-h$ Coefficient de transmission lumineuse normale-hémisphérique de la plaque de polycarbonate mesuré par essais conformes au projet de norme NF EN 16153,

Remarque : A défaut de mesure de la part diffusée, $TL_{wdif} = TL_w$

3.2.11 PAROIS EN BRIQUES DE VERRE

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

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

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

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

$$U_w = U_g + \Delta U$$

(Formule 77) ;

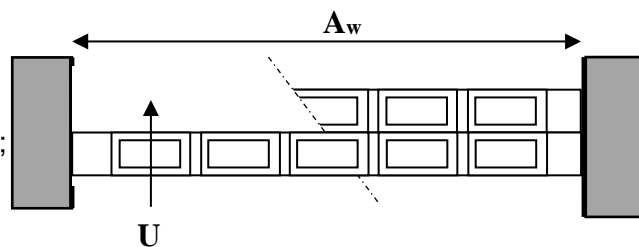


Figure 54- Coupe horizontale

$$\Delta U = \frac{\Psi_1 \cdot L_1 + \Psi_2 \cdot L_2}{A_w} \quad \text{(Formule 78) ;}$$

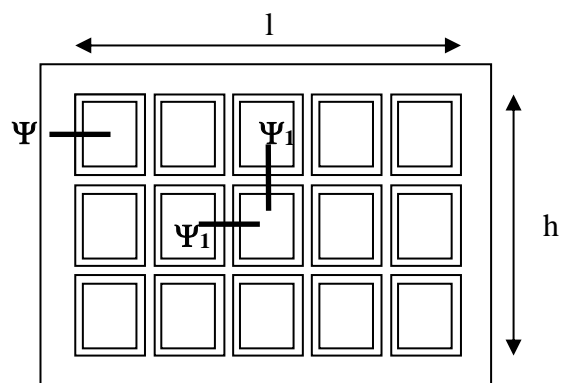


Figure 55- Vue de face d'un panneau

Où

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

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

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

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

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

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

Les coefficients Ψ_1 et Ψ_2 se calculent numériquement en 2D selon la méthode de calcul décrite dans le document Méthodes - Ponts thermiques.

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

$$U_w = \frac{\phi}{\Delta T A_w} \quad (\text{Formule 79}) ;$$

Où

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

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

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

3.2.11.2 Facteur de transmission de l'énergie solaire S_w d'une paroi en brique de verre

Le facteur solaire S_w d'une paroi en brique de verre se calcule d'après la formule suivante :

$$S_w = S_{w1} + S_{w2} \quad (\text{Formule 80})$$

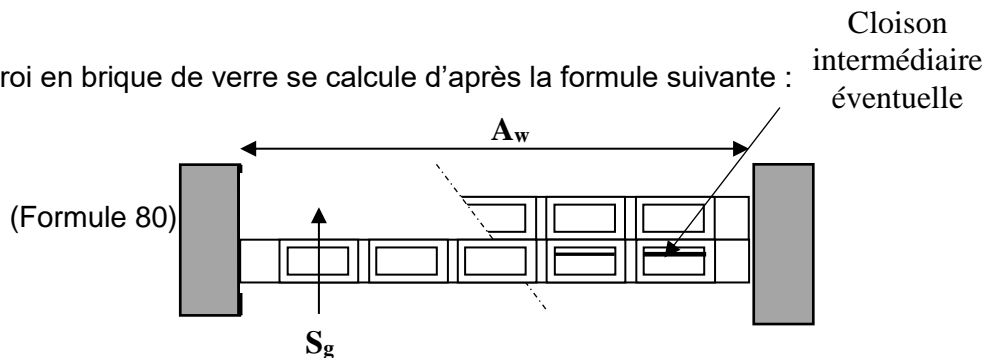


Figure 56– Coupe horizontale

$$S_{w1} = \frac{(l-N_l.e).(h-N_h.e)}{A_w} . S_{g1} \quad (\text{Formule 81}) ;$$

$$S_{w2} = \frac{(l-N_l.e).(h-N_h.e)}{A_w} . S_{g2} + \frac{\alpha_{e1}.L_1.\Psi_1 + \alpha_{e2}.L_2.\Psi_2}{A_w.h_e} \quad (\text{Formule 82}) ;$$

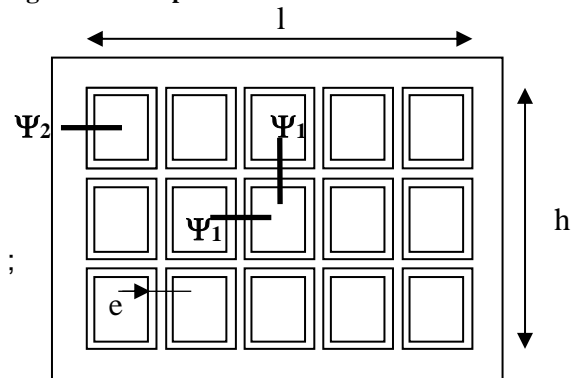


Figure 57– Vue de face d'un panneau

Où

- Ψ_1 est le coefficient de transmission linéique induit par le joint intermédiaire et les cloisons latérales des briques de verre, exprimé en $W/(m.K)$;
- L_1 est la longueur totale ($\sum h + \sum l$) des joints intermédiaires, exprimée en m ;
- α_{e1} est le coefficient d'absorption énergétique extérieur du joint intermédiaire et les cloisons latérales des briques de verre, sans unité ; à défaut de valeurs mesurées considérer $\alpha_{e1} = 0,6$.
- Ψ_2 est le coefficient de transmission linéique induit par le cadre périphérique de la paroi, exprimé en $W/(m.K)$;
- L_2 est le périmètre de l'ouverture dans laquelle est insérée la paroi en brique de verre, exprimée en m ;
- α_{e2} est le coefficient d'absorption énergétique extérieur du cadre périphérique, sans unité ; à défaut de valeurs mesurées considérer $\alpha_{e2} = 0,6$.
- l est la longueur totale visible, exprimée en m ;
- N_l nombre de briques dans le sens de la longueur ;
- h est la hauteur totale visible, exprimée en m ;
- N_h nombre de briques dans le sens de la hauteur ;
- e Epaisseur du joint intermédiaire et les cloisons latérales des briques de verre, exprimée en m ;
- A_w est la surface de l'ouverture dans laquelle est insérée la paroi en brique de verre, exprimée en m^2 .
- h_e est le coefficient d'échange superficiel extérieur, exprimé en $W/(m^2.K)$; à défaut de valeurs spécifiques considérer $h_e = 25 W/(m^2.K)$
- S_{g1} Composante directe du facteur solaire qui se calcule à partir de la formule suivante :

$$S_{g1} = F_{tot} \cdot \tau_e \quad \text{(Formule 83) ;}$$

Où :

τ_e Coefficient de transmission énergétique en partie courante qui se calcule selon la NF EN ISO 52022-3 à partir des caractéristiques des verres

F_{tot} Coefficient d'affaiblissement global du rayonnement solaire direct et diffus qui se détermine à partir du tableau suivant et du ratio de forme K_b de la brique :

$$K_b = \frac{l_b \cdot h_b}{e_b \cdot (l_b + h_b)} \quad \text{(Formule 84) ;}$$

l_b Largeur d'une brique de verre

h_b Hauteur d'une brique de verre

e_b Epaisseur d'une brique de verre

| K_b | F_{tot} |
|------------|-------------|
| 1 ou moins | 0,50 |
| 2 | 0,7 |
| 5 ou plus | 0,85 |

Pour les valeurs intermédiaires de K_b , une interpolation linéaire est possible.

S_{g2} Composante réémise du facteur solaire qui se calcule conformément à la norme NF EN ISO 52022-3 à partir des caractéristiques optiques des couches de verres composant les briques. L'impact des réflexions sur les joints à l'intérieur des briques est négligé. La réémission thermique est supposée identique en conditions de consommation C et en condition estivale E et se calcule en conditions de consommation C.

3.2.11.3 Facteur de transmission lumineuse T_{li} d'une paroi en brique de verre

Le facteur de transmission lumineuse T_{li} d'une paroi en brique de verre se calcule d'après la formule suivante :

$$T_{li} = \frac{(l - N_l \cdot e) \cdot (h - N_h \cdot e)}{A_w} \cdot TL_g \quad (\text{Formule 85}) ;$$

Où

l est la longueur totale visible, exprimée en m ;

N_l nombre de briques dans le sens de la longueur ;

h est la hauteur totale visible, exprimée en m ;

N_h nombre de briques dans le sens de la hauteur ;

e Epaisseur du joint intermédiaire et les cloisons latérales des briques de verre, exprimée en m ;

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

TL_g Facteur de transmission lumineuse qui se calcule à partir de la formule suivante :

$$TL_g = F_{tot} \cdot \tau_v \quad (\text{Formule 86}) ;$$

Où :

τ_v Coefficient de transmission lumineuse en partie courante qui se calcule selon la NF EN ISO 52022-3 à partir des caractéristiques des verres

F_{tot} Coefficient d'affaiblissement global du rayonnement solaire direct et diffus qui se détermine à partir du tableau suivant et du ratio de forme K_b de la brique :

$$K_b = \frac{l_b \cdot h_b}{e_b \cdot (l_b + h_b)}$$

l_b Largeur d'une brique de verre

h_b Hauteur d'une brique de verre

e_b Epaisseur d'une brique de verre

| K_b | F_{tot} |
|------------|-------------|
| 1 ou moins | 0,50 |
| 2 | 0,7 |
| 5 ou plus | 0,85 |

Pour les valeurs intermédiaires de K_b , une interpolation linéaire est possible.

A défaut de valeurs de part diffusée, il convient de considérer que la transmission lumineuse se fait intégralement de manière diffuse pour ce type de paroi :

$$T_{lid} = T_{li}$$

3.2.11.4 Valeurs par défaut S_w et T_{li} des parois en briques de verre

A défaut de valeurs calculées selon la méthode présentée au paragraphe §3.2.11.2 et 3.2.11.3, les valeurs par défaut suivantes peuvent être utilisées. Ces valeurs par défaut concernent un cas de brique de verre sans remplissage argon, sans couche peu émissive et sans protection solaire.

Description général du panneau:

- dimension 88x128 cm;
- constitué de briques de dimension 190x190x90 mm ;
- verre clair de 8 mm d'épaisseur. Caractéristiques optiques considérées :

- joint mortier entre brique de verre de 1 cm ;
- cadre en béton de 4,5 cm ;
- paroi vertical

| Caractéristiques verre clair de 8 mm | Spectre énergétique (solaire) | Spectre lumineux |
|--|-------------------------------|------------------|
| Transmission τ | 0,78 | 0,78 |
| Réflexion avant ρ | 0,06 | 0,06 |
| Réflexion arrière ρ' | 0,06 | 0,06 |
| Emissivité avant corrigée ε | 0,84 | - |
| Emissivité arrière corrigée ε' | 0,84 | - |

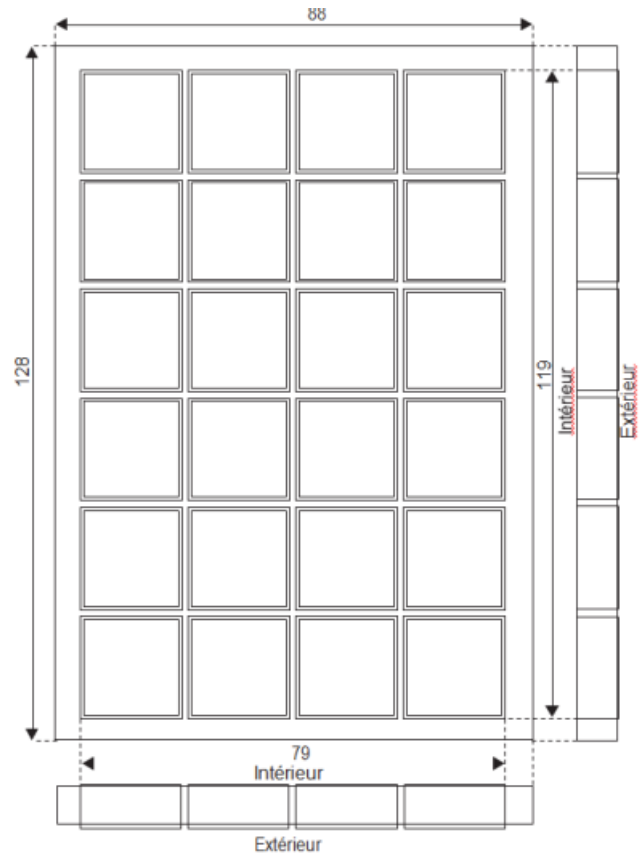


Figure 58: Panneau en briques de verre

Simple rangée de briques à 2 cloisons :

Données en partie courante d'après NF EN ISO 52022-3 :

$$\tau_v = \tau_e = 0,61$$

$$S_{g2} = 0,13$$

Données d'entrée

$$N_h = 6$$

$$N_l = 4$$

$$l_b = 0,19 \text{ m}$$

$$h_b = 0,19 \text{ m}$$

$$e_b = 0,09 \text{ m}$$

$$l = 0,79 \text{ m}$$

$$h = 1,19 \text{ m}$$

$$e = (0,01 + 2 \cdot 0,008) = 0,026 \text{ m}$$

$$L_1 = 3 \cdot 1,19 + 5 \cdot 0,79 = 7,52 \text{ m}$$

$$L_2 = 2 \cdot (1,19 + 0,79) = 3,96 \text{ m}$$

$$A_w = 1,28 \cdot 0,88 = 1,1264 \text{ m}^2$$

$$\Psi_1 = 0,06 \text{ W/(m.K)} \text{ d'après valeurs par défauts briques de verre (xxx)}$$

$$\Psi_2 = 0,12 \text{ W/(m.K)} \text{ d'après valeurs par défauts briques de verre (xxx)}$$

$$\alpha_{e1} = \alpha_{e2} = 0,6$$

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

Données intermédiaires

$$K_b = 0,19^2 / (0,09 \cdot 2 \cdot 0,19) = 1,06$$

$$F_{tot} = 0,5$$

$$S_{g1} = T L_g = 0,5 \cdot 0,61 = 0,305$$

$$Sw_1 = ((0,79 - 4 \cdot 0,026) \cdot (1,19 - 6 \cdot 0,026) / 1,1264) \cdot 0,305 = 0,6297 \cdot 0,305 = 0,192$$

$$Sw_2 = 0,6297 \cdot 0,13 + 0,6 \cdot (7,52 \cdot 0,06 + 3,96 \cdot 0,12) / (1,1264 \cdot 25) = 0,102$$

Valeurs finales :

$$T_{li} = T_{lid} = 0,6297 \cdot 0,305 = 0,19$$

$$Sw = 0,192 + 0,102 = 0,29$$

3.2.12 CONDUITS DE LUMIERE

3.2.12.1 Coefficient de transmission UCL d'un conduit de lumière

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

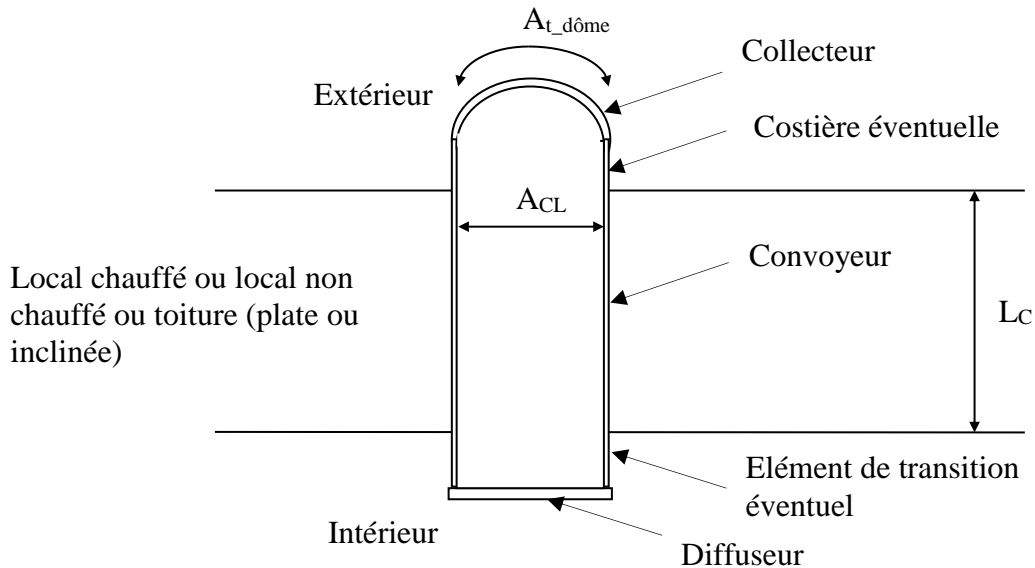


Figure 59 - Conduit de lumière

3.2.12.1.1 Conduit de lumière ne traversant pas un local

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

$$U_{CL} = \frac{U_t \cdot A_{CL} + \psi \cdot L}{A_{CL}} \quad \text{en W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (\text{Formule 87}) ;$$

Où

A_{CL} est la surface du conduit de lumière, exprimée en m^2 ;

U_t est le coefficient de transmission surfacique en partie courante de l'ensemble du conduit de lumière calculé comme suit :

$$U_t = \frac{1}{\sum R_{d\ome} + \sum R_{diff} + R_{se} + R_{si} + R_{volume_air}} \quad \text{en W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (\text{Formule 88}) ;$$

Où

$\sum R_{D\ome}$ est la somme des résistances thermiques des couches de remplissage du dôme, exprimée en $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;

$\sum R_{diff}$ est la somme des résistances thermiques des couches de remplissage du diffuseur, exprimée en $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;

R_{si} est la résistance thermique superficielle intérieure ascendante, exprimée en $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;

R_{se} est la résistance thermique superficielle extérieure, exprimée en $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;

R_{volume_air} est la résistance thermique du volume d'air situé entre le dôme et le diffuseur, exprimée en $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$; Par défaut R_{volume_air} sera pris égale à $0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

L est le périmètre du conduit de lumière, exprimé en m ;

ψ est le coefficient de transmission linéique global du procédé, exprimé en $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ et calculé comme suit :

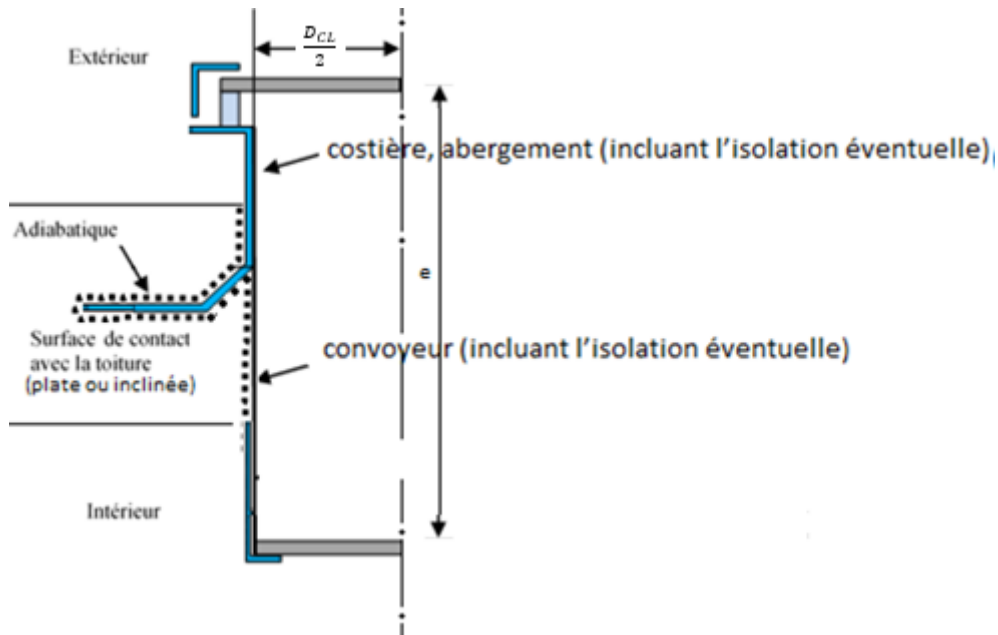


Figure 60 : vue 2D de la moitié d'un conduit de lumière passant par une toiture (plate ou inclinée)

$$\psi = \frac{\varphi}{\Delta T} - U_t \frac{D_{CL}}{2} \quad \text{en W/m.K} \quad (\text{Formule 89}) ;$$

Où

φ est le flux traversant l'ensemble du conduit et calculé numériquement en considérant une conductivité dans le volume d'air égale à $e/0,16$, (e étant la hauteur du volume d'air situé entre le diffuseur et le dôme en m) ; φ est exprimé en W/K.

Dans le cas où un élément de remplissage est inséré dans le conduit de lumière et sépare le volume d'air en deux volumes d'air, la modélisation pourra être réalisée en tenant compte des deux volumes d'air. Dans ce cas une conductivité thermique égale à $e1/0,16$ et $e2/0,16$ sera prise dans chacun des deux volumes d'air (avec $e1$ et $e2$ les hauteurs respectives des deux volumes d'air)

ΔT est la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, exprimé en K ;

$\frac{D_{CL}}{2}$ est le rayon du conduit de lumière, soit $\frac{D_{CL}}{2}$ en m ;

La Figure 60 donne une illustration des conventions de calcul à adopter dans le cas d'un conduit de lumière traversant une toiture.

3.2.12.1.2 Conduits de lumière traversant un local non chauffé

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

$$U_{CL} = U_{diff} \cdot b' \quad \text{en W/m}^2.K \quad (\text{Formule 90}) ;$$

Où

U_{diff} est le coefficient de transmission surfacique du diffuseur, exprimé en $W/(m^2.K)$;
 b' est le coefficient de réduction des déperditions à l'intérieur du conduit de lumière, déterminé d'après la formule suivante :

$$b' = \frac{T_i - T_{CL}}{T_i - T_e} \quad (\text{Formule 91}) ;$$

T_i est la température intérieure fixée par convention à 20 °C ;
 T_e est la température extérieure fixée par convention à 0°C ;
 T_{CL} est la température à l'intérieur du conduit de lumière déterminée à partir de la relation suivante :

$$T_{CL} = \frac{U_{d\acute{o}me} \cdot A_{CL} \cdot T_e + U_{conv} \cdot A_{conv} \cdot T_{LNC} + U_{diff} \cdot A_{CL} \cdot T_i}{U_{d\acute{o}me} \cdot A_{CL} + U_{diff} \cdot A_{CL} + U_{conv} \cdot A_{conv}} \quad (\text{Formule 92}) ;$$

Où

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

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

$$A_{CL} = \pi \cdot \frac{D_{CL}^2}{4} \quad (\text{Formule 93}) ;$$

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

$$A_{conv} = \pi \cdot D_{CL} \cdot L_{CL} \quad (\text{Formule 94}) ;$$

où

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

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

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

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

$$U_{d\acute{o}me} = \frac{U_{t,d\acute{o}me} \cdot A_{t,d\acute{o}me} + \psi_{d\acute{o}me} \cdot P_{CL}}{A_{CL}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (\text{Formule 95}) ;$$

$$U_{diff} = \frac{U_{t,diff} \cdot A_{t,diff} + \psi_{diff} \cdot P_{CL}}{A_{CL}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (\text{Formule 96}) ;$$

Où

$U_{t,d\acute{o}me}$ est le coefficient de transmission thermique surfacique en partie courante du remplissage du dôme, exprimé en $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

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

$\psi_{d\acute{o}me}$ est le coefficient de transmission linéique du profil de rive du dôme incluant l'élément de costière éventuel, exprimé en $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. $\psi_{d\acute{o}me}$ est calculé numériquement d'après la formule suivante :

$$\psi_{D\acute{o}me} = \frac{\phi_1}{\Delta T} - U_{t,d\acute{o}me} \times l_t \quad (\text{Formule 97})$$

Avec

ϕ_1 est le flux de chaleur traversant le profil de rive du dôme calculé numériquement en considérant une longueur de convoyeur $l_c = 1\text{m}$

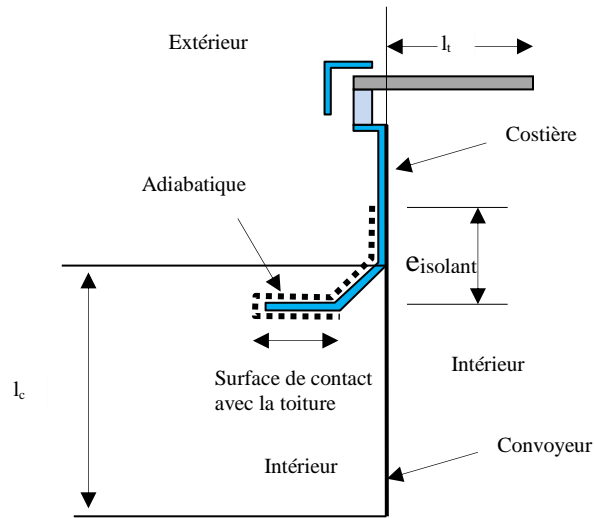


Figure 61 – Coupe du profil de rive du collecteur

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

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

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

$$\psi_{diff} = \frac{\phi_1}{\Delta T} - U_{t_diff} \times l_t \quad (\text{Formule 98}) ;$$

Avec

ϕ_1 est le flux de chaleur traversant le profil de rive du diffuseur calculé numériquement en considérant une longueur de convoyeur $l_c = 1\text{m}$

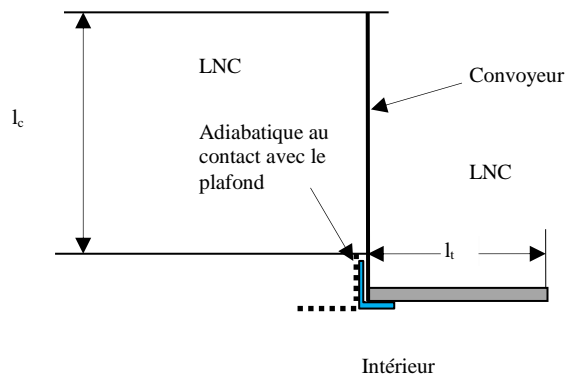


Figure 62 – Coupe du profil de rive du diffuseur

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

3.2.12.1.3 Conduits de lumière traversant un local chauffé

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

$$U_{CL} = \frac{U_{diff} \times A_{CL} + U_{conv} \times A_{conv}}{A_{CL}} \times b \quad (\text{Formule 99}) ;$$

Où

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

$$b = \frac{U_{d\acute{o}me} A_{CL}}{U_{d\acute{o}me} A_{CL} + U_{diff} A_{CL} + U_{conv} A_{conv}} \quad (\text{Formule 100}) ;$$

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

$$U_{CL\text{moyen}} = \frac{U_{CL1} \cdot L_1 + U_{CL2} \cdot L_2}{L_1 + L_2} \quad (\text{Formule 101}) ;$$

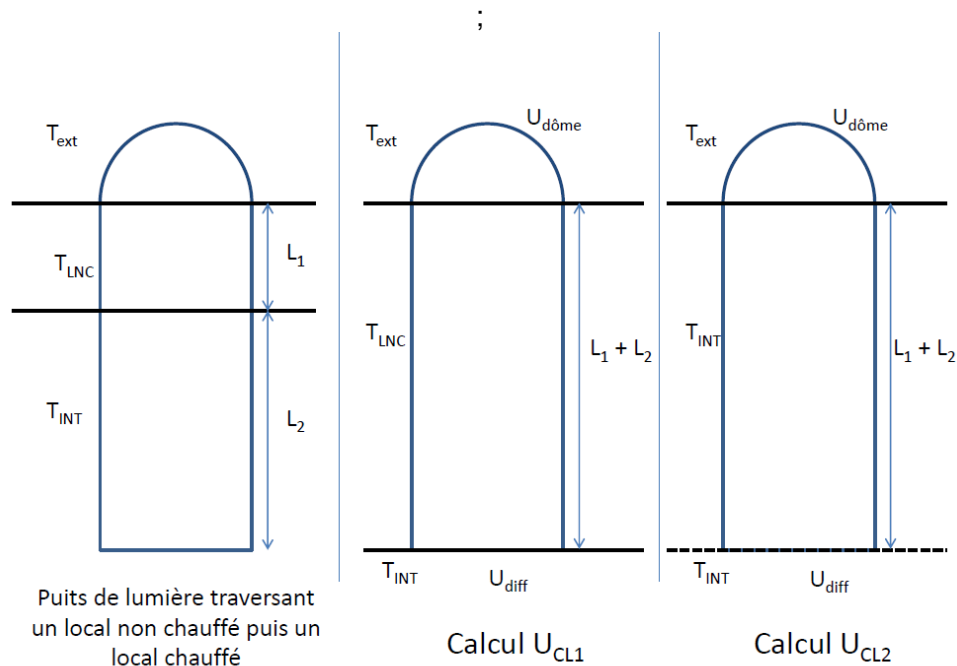


Figure 63 – Convention de calcul dans le cas d'un conduit de lumière traversant un local non chauffé puis un local chauffé

3.2.12.2 Facteur de transmission solaire Sw d'un conduit de lumière

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

$$Sw_1 = Tli_{sp,b \text{ conduit}} \quad (\text{Formule 102}) ;$$

$$Sw_2 = Sw_3 = 0 \quad (\text{Formule 103}) ;$$

Où $Tli_{sp,b \text{ conduit}}$ est le facteur de transmission lumineuse du conduit de lumière, calculé selon le paragraphe 3.2.12.3.

3.2.12.3 Facteur de transmission lumineuse TLw d'un conduit de lumière

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

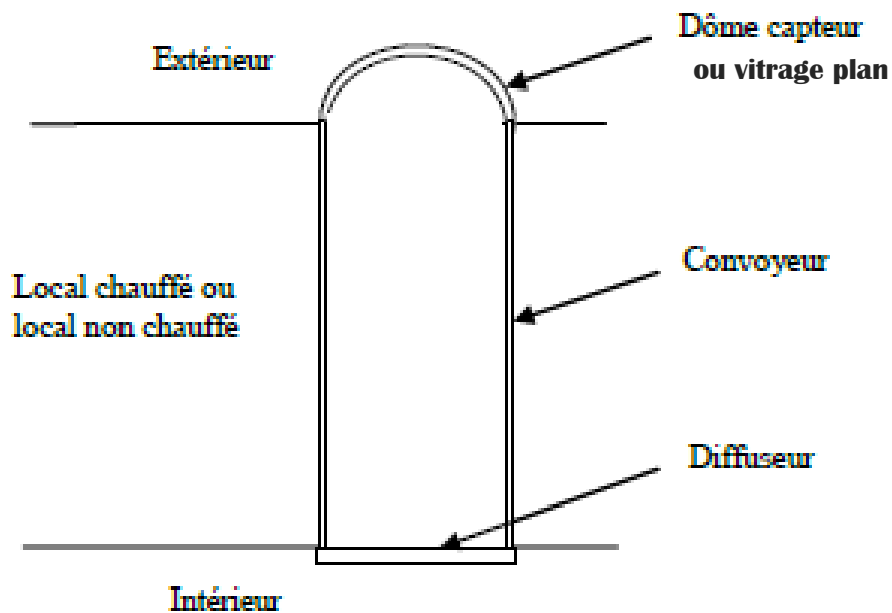


Figure 64 - Conduit de lumière

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

réfléchissants.

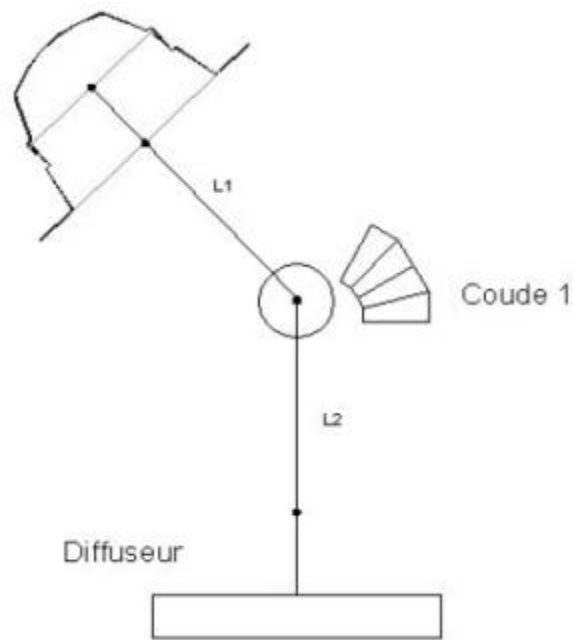


Figure 65 – Détail du convoyeur

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

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

$$Tli_{sp,b\ conduit} = \eta_{capteur} \times \eta_{convoyeur} \times \eta_{diffuseur} \quad (\text{Formule 104}) ;$$

$$Tlid_{sp,b\ conduit} = Tli_{sp,b\ conduit}$$

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

$$\eta_{convoyeur} = (\eta_{tube\ 1} \times \eta_{tube\ 2} \times \dots \times \eta_{tube\ n}) \times (\eta_{coude\ 1} \times \eta_{coude\ 2} \times \dots \times \eta_{coude\ m}) \quad (\text{Formule 105}) ;$$

avec :

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

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

3.2.13 FAÇADES RIDEAUX

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

Ne sont concernées par ce paragraphe que les façades rideaux définies au paragraphe 3.1.5 et par la norme NF DTU 33.1.

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

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

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

1 – on divise la façade en modules.

Les frontières des modules doivent être choisies de façon à obtenir des modules répétitifs juxtaposés simples à calculer. Le plus souvent, ces frontières sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la façade. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

2 – on détermine les coefficients surfaciques et linéiques des éléments de chaque module.

Chaque module peut contenir à la fois différents types d'éléments : éléments de remplissage vitrés ou opaques, profilés de menuiserie, espaceurs de vitrages ou de panneaux opaques. La méthode de calcul de ces éléments est donnée dans la norme NF EN ISO 12631.

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

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

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

$$U_{cw, tot} = \frac{\sum (U_{cwi} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}} \quad (\text{Formule 106}) ;$$

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 .

- Calcul des facteurs solaires et de transmission lumineuse des différents éléments de chaque facette (éléments de remplissage vitré ou opaque, profilés de menuiserie), à l'aide de la norme XP P50-777.
- Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire moyen S_{cwi} et S_{cws_i} de chaque facette i en fonction de la présence ou non de protection solaire, à partir du paragraphe 3.3.2.2 et de la norme XP P50-777.

Note 1 : les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage :

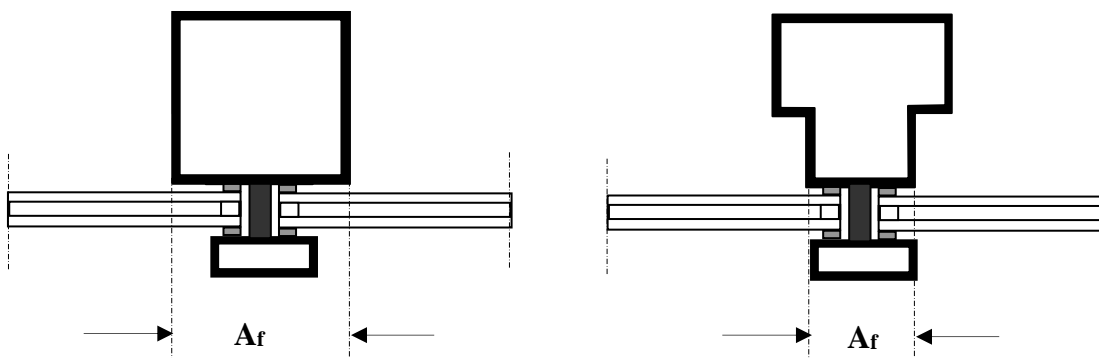


Figure 67 – Aires projetées visibles de la menuiserie

Note 2 : dans la majorité des cas, le correctif appliqué se limite à la correction d'angle d'incidence (cf. §.3.3.2.3.3).

- Renseignement de la façade rideau dans la méthode Th-BCE 2020 : la façade rideau se décrit sous la forme de plusieurs facettes différentes, il n'est pas possible de définir de coefficient moyen global de la façade. Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces intérieures de chaque facette (après déduction des épaisseurs de planchers et de refends). Les apports solaires supplémentaires au niveau des nez de dalle peuvent être comptabilisés sous forme d'apport linéique dépendant du pont thermique de liaison entre la façade et la dalle / refend (cf. document Méthodes - fascicule Ponts thermiques). L'inclinaison et l'orientation de chaque facette doivent être renseignées, ainsi que les masques proches ou lointains (par exemple les facettes 4 et 2 se masquent entre-elles dans l'exemple ci-dessus).

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

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

- Division de la façade en modules. Les frontières des modules doivent être choisies de façon à obtenir des modules répétitifs juxtaposés simples à calculer. Le plus souvent, ces frontières sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la façade rideau. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

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

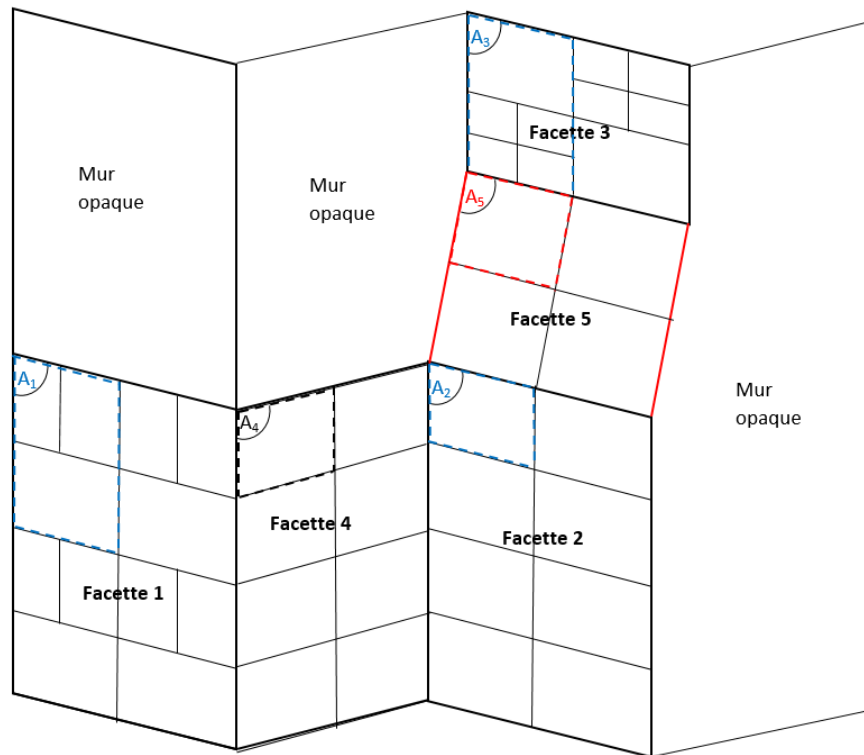


Figure 68 – Découpage de la façade en module et en facettes

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

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

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

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

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

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

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

- Calcul de transmission lumineuse des différents éléments de chaque facette (éléments de remplissage vitré), à l'aide de la norme XP P50-777.
- Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen TL_{cwi} et TL_{cws} de chaque facette i en fonction de la présence ou non de protection solaire, à partir du paragraphe 3.3.3.1 et de la norme XP P50-777.

Note 1 : les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage :

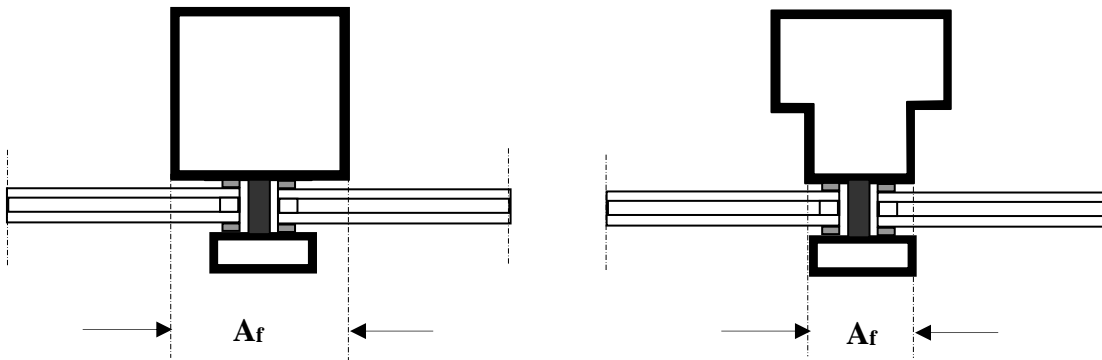


Figure 69 – Aires projetées visibles de la menuiserie

Note 2 : dans la majorité des cas, le correctif appliqué se limite à la correction d'angle d'incidence (cf. §. 3.3.3.2.3). Dans le cas d'une présence de poteaux structurels ou de poutres à retombée situés à moins d'un mètre de la façade, un correctif supplémentaire F_p doit être introduit :

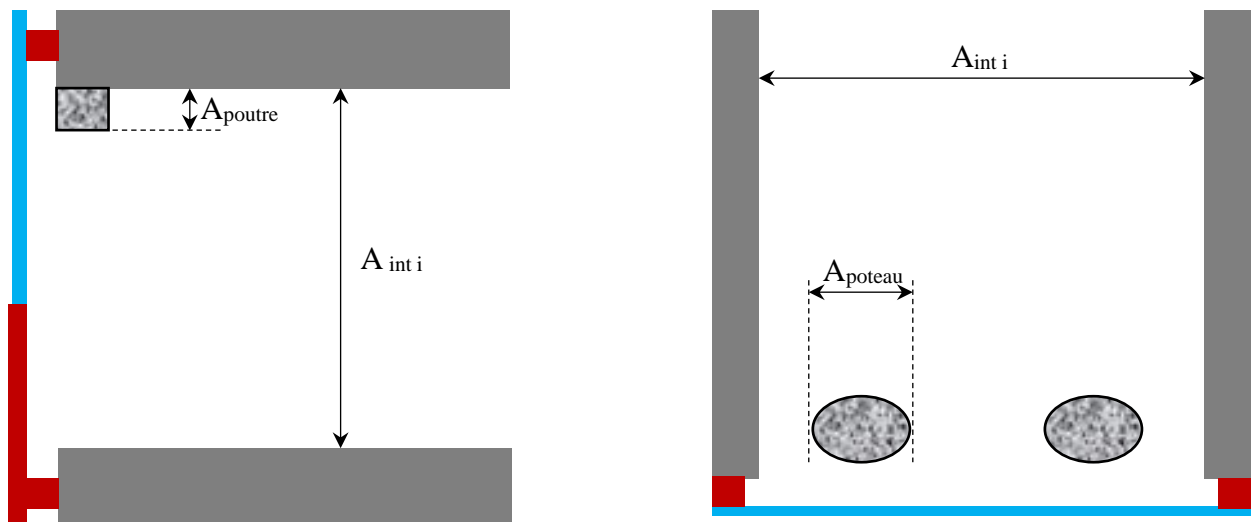


Figure 70 – Descriptif de la façade rideau

Où :

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

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

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

- Renseignement de la façade rideau dans Th-BCE 2020 : la façade rideau se décrit sous la forme de plusieurs facettes différentes, il n'est pas possible de définir de coefficient moyen global de la façade. Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces intérieures de chaque facette (après déduction des épaisseurs de planchers et de refends). L'inclinaison et l'orientation de chaque facette doivent être renseignées, ainsi que les masques proches ou lointains (par exemple les facettes 4 et 2 se masquent entre-elles dans l'exemple ci-dessus).

3.2.14 FAÇADES DOUBLE PEAU

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$U_{cw} = \frac{1}{\frac{1}{U_{cw2}} + 0,09} \quad (\text{Formule 107}) ;$$

Où :

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

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

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

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

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

$$U_{cw} = \frac{1}{\frac{1500 - A_v}{1000} \times R_{cw,u} + \frac{A_v - 500}{1000} \times R_{cw,v}} \quad (\text{Formule 108}) ;$$

Où :

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

$$R_{cw,u} = \frac{1}{U_{cw1}} + \frac{1}{U_{cw2}} + R_s - 0,17 \quad (\text{Formule 109}) ;$$

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

$$R_{cw,v} = \frac{1}{U_{cw2}} + 0,09 \quad (\text{Formule 110}) ;$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

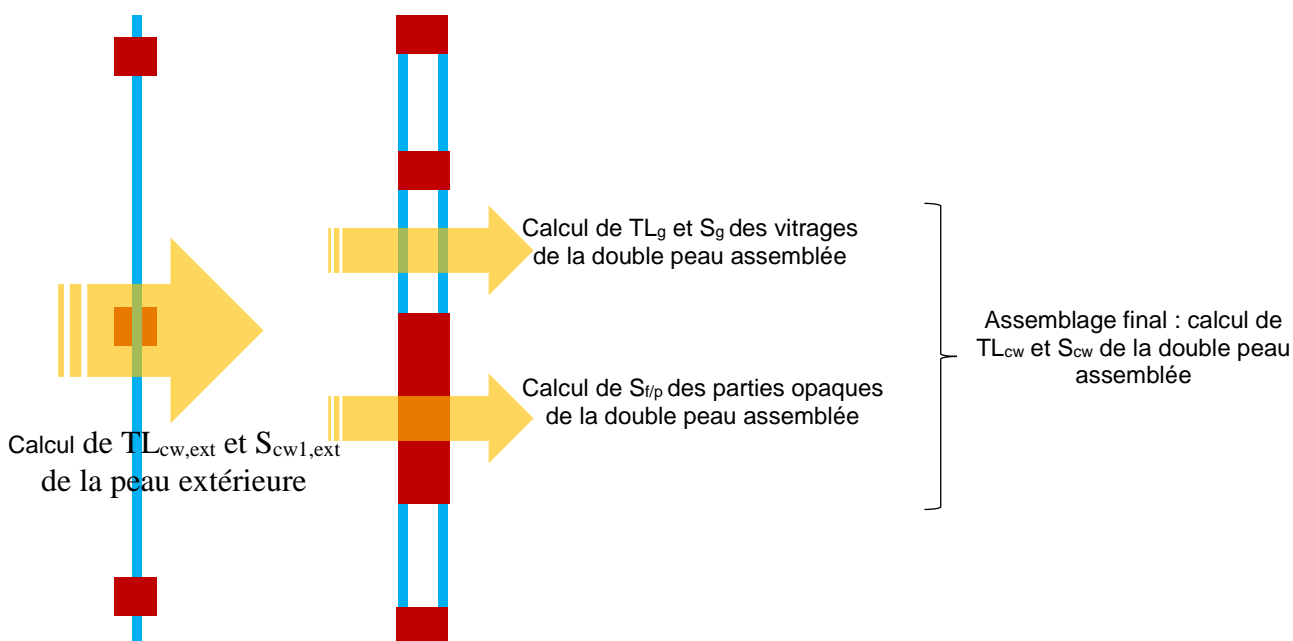


Figure 71 – Façade double peau

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

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

3.2.14.2.1 *Division de la façade en modules.*

Les frontières des modules doivent être choisies de façon à obtenir des modules répétitifs juxtaposés simples à calculer. Le plus souvent, ces frontières sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la façade double peau. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

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

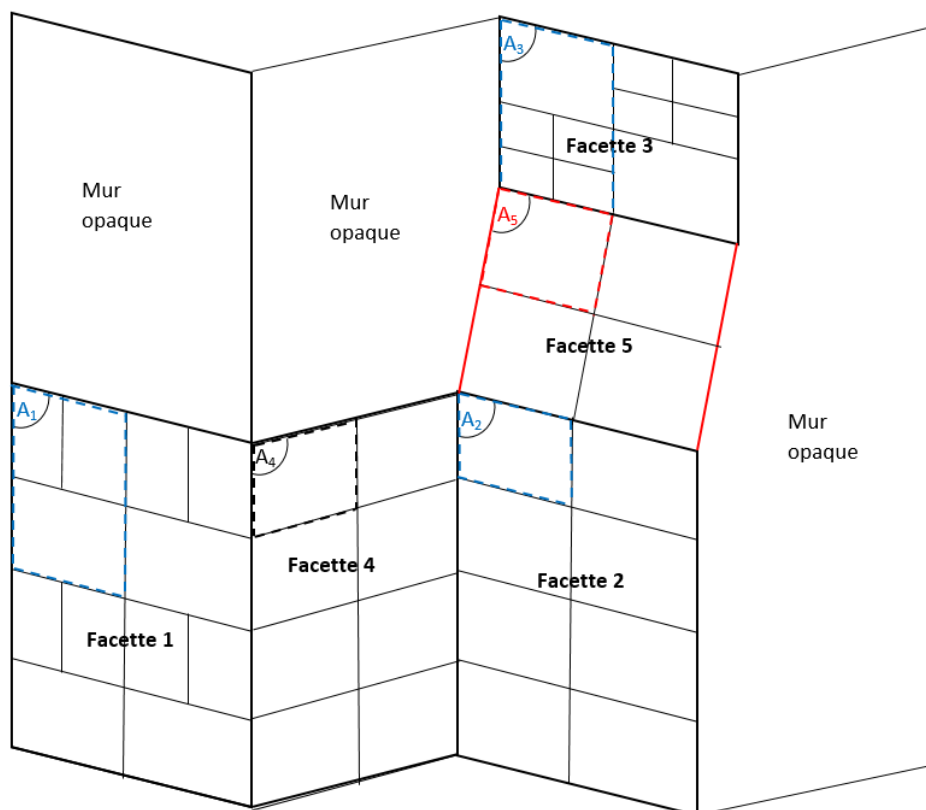


Figure 72 – Découpage de la façade en module et en facettes

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

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

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

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

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

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

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

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

3.2.14.2.2 *Calcul des facteurs de transmission lumineuse et de transmission solaire directe (Scw1) pour la peau extérieure et chaque facette i*

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

$$S_{cw1,i,ext} = \frac{\sum \tau_{e,ext} A_{g,ext}}{\sum (A_{g,ext} + A_{f,ext} + A_{p,ext})} \quad \text{(Formule 111) ;}$$

$$TL_{cw,i,ext} = \frac{\sum \tau_{v,ext} A_{g,ext}}{\sum (A_{g,ext} + A_{f,ext} + A_{p,ext})} \quad \text{(Formule 112) ;}$$

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

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

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

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

(1) les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage :

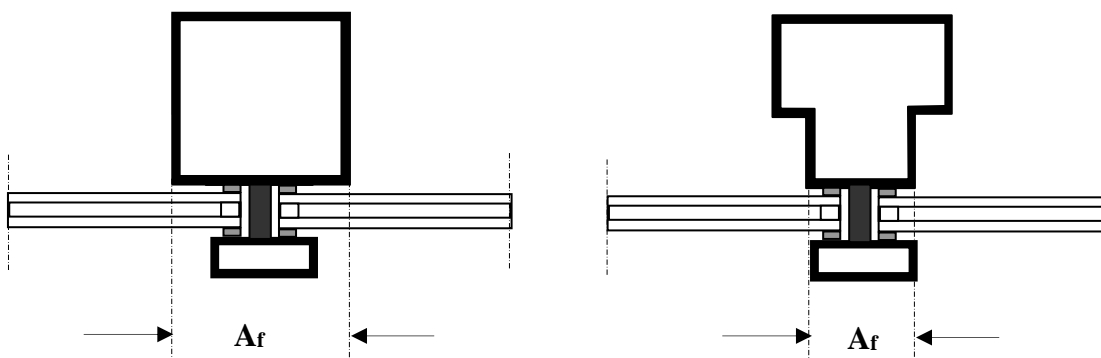


Figure 73 – Aires projetées visibles de la menuiserie

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

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

3.2.14.2.3.1 Calcul des composantes des vitrages d'une facette i

$$S_{g1} = \frac{\tau_{e,int} \times S_{cw1,i,ext}}{1 - \rho_{e,int} \times \rho'_{e,ext}}$$

$$S_{g2} = \frac{1}{R_{cw,u} + 0.17} \cdot \left(\frac{\alpha_{e1} + \alpha_{e2}}{23} + \alpha_{e2} \cdot R_{cw,u} \right)$$

$$S_{g3} = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} S_{g1} = \frac{\tau_{e,int} \times S_{cw1,i,ext}}{1 - \rho_{e,int} \times \rho'_{e,ext}} \\ S_{g2} = \frac{1}{R_{cw,u} + 0.17} \cdot \left(\frac{\alpha_{e1} + \alpha_{e2}}{23} + \alpha_{e2} \cdot R_{cw,u} \right) \\ S_{g3} = 0 \end{array} \right\} S_g = S_{g1} + S_{g2} + S_{g3} \quad \text{(Formule 113) ;}$$

$$TL_g = \frac{\tau_{v,int} \times TL_{cw,i,ext}}{1 - \rho_{v,int} \times \rho'_{v,ext}}$$

$$TL_{g,dif} = 0$$

$$\text{(Formule 114) ;}$$

Avec :

$$\alpha_{e1} = 1 - S_{cw1,i,ext} - \rho_{e,ext} + \frac{S_{cw1,i,ext} \cdot \rho_{e,int} \cdot (1 - S_{cw1,i,ext} - \rho'_{e,ext})}{1 - \rho'_{e,ext} \cdot \rho_{e,int}} \quad \text{(Formule 115) ;}$$

$$\alpha_{e2} = \frac{(1 - \tau_{e,int} - \rho_{e,int}) \cdot S_{cw1,i,ext}}{1 - \rho'_{e,ext} \cdot \rho_{e,int}} \quad \text{(Formule 116) ;}$$

Où :

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

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

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

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

$S_{cw1,i,ext}$ et $TL_{cw,i,ext}$ sont les facteurs de transmission solaire direct et lumineuse de la peau extérieure de la facette i considérée, déterminé selon le §.3.2.14.2.2

$R_{cw,u}$ est la résistance thermique équivalente de la double peau avec espace d'air non ventilé, en $m^2 \cdot K/W$, déterminé selon le §.3.2.14.1.2.

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

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

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

$$S_f = S_{cw1,i,ext} \cdot \frac{\alpha_f \cdot U_f}{25} + \frac{1 - S_{cw1,i,ext} - \rho'_{e,ext}}{10 \cdot \left(\frac{1}{U_f} + 0.3\right)} + \frac{S_{cw1,i,ext} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_f \cdot U_f}{25}\right)}{5 \cdot \left(\frac{1}{U_f} + 0.3\right)} \quad (\text{Formule 117}) ;$$

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

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

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

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

3.2.14.2.3.3 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen Sc_{wi} et TL_{cwi} de chaque facette.

$$S_{cw1,i} = \frac{\sum S_{g1} A_{g,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad (\text{Formule 118}) ;$$

$$S_{cw2,i} = \frac{\sum S_{g2} A_{g,int} + \sum S_f A_{f,int} + \sum S_p A_{p,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad (\text{Formule 119}) ;$$

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

$$TL_{cw,i} = \frac{\sum TL_g A_{g,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad (\text{Formule 120}) ;$$

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

où

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

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

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

TL_g est le facteur de transmission lumineuse sans protection solaire de chaque vitrage de la facette i , déterminée suivant le §.3.2.14.2.3.1.

S_{g1} est la composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire de chaque vitrage de la facette i , déterminée suivant le §. 3.2.14.2.3.1.

S_{g2} est la composante réémission du facteur de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire de chaque vitrage de la facette i , déterminée suivant le §. 3.2.14.2.3.1.

S_f est le facteur solaire du cadre sans protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.14.2.3.2.

S_p est le facteur solaire de l'élément de remplissage opaque sans protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.14.2.3.2.

(1) les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage :

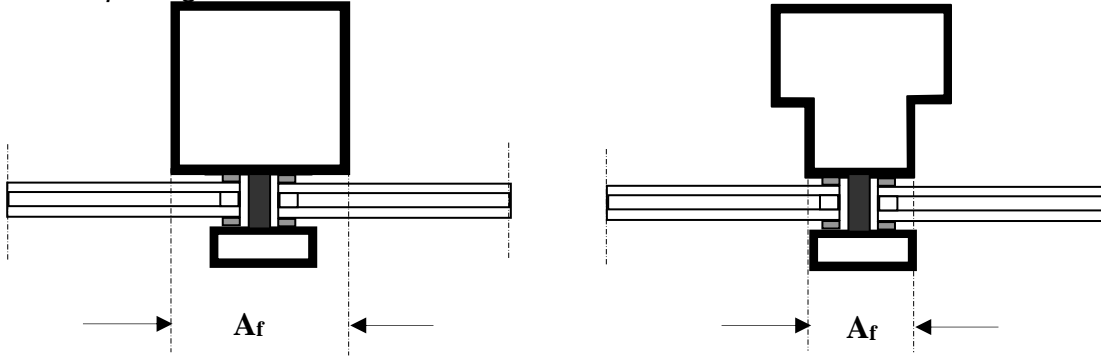


Figure 74 – Aires projetées visibles de la menuiserie

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

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

3.2.14.2.4.1 Calcul des composantes des vitrages d'une facette i

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

(Formule 121) ;

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

(Formule 122) ;

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

Où :

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

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

$S_{cw1,i,ext}$ et $TL_{cw,i,ext}$ sont les facteurs de transmission solaire direct et lumineuse de la peau extérieure de la facette i considérée, déterminé selon le §.3.2.14.2.2.

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

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

$R_{cw,u}$ est la résistance thermique équivalente de la double peau avec espace d'air non ventilé, en $m^2.K/W$, déterminé selon le §.3.2.14.1.2.

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

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

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

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

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

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

(Formule 123) ;

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

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

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

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

3.2.14.2.4.2.1 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen $Sc_{w1,i}$ et $TL_{w1,i}$ de chaque facette.

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

(Formule 124) ;

$$S_{cws2,i} = \frac{\sum S_{gs2} A_{g,int} + \sum S_{fs} A_{f,int} + \sum S_{ps} A_{p,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad \text{(Formule 125) ;}$$

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

$$TL_{cws,i} = \frac{\sum TL_{gs} A_{g,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad \text{(Formule 126) ;}$$

$$TL_{cws,dif,i} = \frac{\sum TL_{gs,dif} A_{g,int}}{\sum (A_{g,int} + A_{f,int} + A_{p,int})} \quad \text{(Formule 127) ;}$$

où

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

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

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

TL_{gs} est le facteur de transmission lumineuse avec protection solaire de chaque vitrage de la facette i, déterminée suivant le §.3.2.14.2.4.1.

$TL_{gs,dif}$ est la composante diffusée du facteur de transmission lumineuse avec protection solaire de chaque vitrage de la facette i, déterminée suivant le §.3.2.14.2.4.1.

S_{gs1} est la composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire avec protection solaire de chaque vitrage de la facette i, déterminée suivant le §.3.2.14.2.4.1.

S_{gs2} est la composante réémise du facteur de transmission de l'énergie solaire avec protection solaire de chaque vitrage de la facette i, déterminée suivant le §.3.2.14.2.4.1.

S_{fs} est le facteur solaire du cadre avec protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.14.2.4.2.

S_{ps} est le facteur solaire de l'élément de remplissage opaque avec protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.14.2.4.2.

⁽¹⁾ les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage :

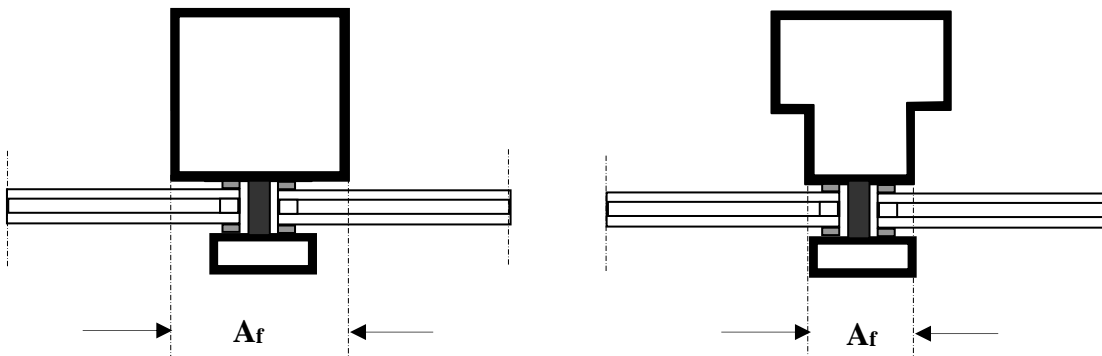


Figure 75 – Aires projetées visibles de la menuiserie

3.2.14.2.6 *Renseignement de la façade double peau dans Th-BCE*

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

Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces des différents modules moyens. Les différentes composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse sont ceux calculés aux paragraphes 3.2.14.2.3 et 3.2.14.2.4. Les valeurs sans protection solaire en condition de consommation peuvent être prise égales à celles en condition de confort d'été et égales aux composantes S_{cw} ($S_{cw}^C = S_{cw}^E = S_{cw}$).

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

3.2.15 VERRIERES

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

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

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

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

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

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

3.2.15.1.1.1 Division de la verrière en modules.

Les frontières des modules doivent être choisies de façon à obtenir des modules répétitifs juxtaposés simples à calculer. Le plus souvent, ces frontières sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la verrière. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

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

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

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

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

En plus des vitrages, chaque module peut contenir à la fois différents types d'éléments : éléments de remplissage opaques, profilés de menuiserie, espaceurs de vitrages ou de panneaux opaques. La méthode de calcul de ces éléments est donnée dans la norme NF EN ISO 10077-2. Pour le calcul des coefficients de transmission U_p des panneaux de remplissage opaques, les conditions aux limites à utiliser sont celles définies au document Méthodes fascicule Parois opaques et

correspondent à un flux thermique ascendant et une émissivité de la face intérieure proche de $\varepsilon=0,9$ ($h_i = 10 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$).

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

$$U_{cw,i} = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_f A_f + \sum U_p A_p + \sum \psi_g l_g + \sum \psi_p l_p}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad (\text{Formule 128}) ;$$

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 $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$

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

U_p est le coefficient surfacique en partie centrale du panneau opaque, en $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$;

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

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

Ψ_g est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'intercalaire du vitrage et du profilé, en $\text{W}/(\text{m}.\text{K})$;

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

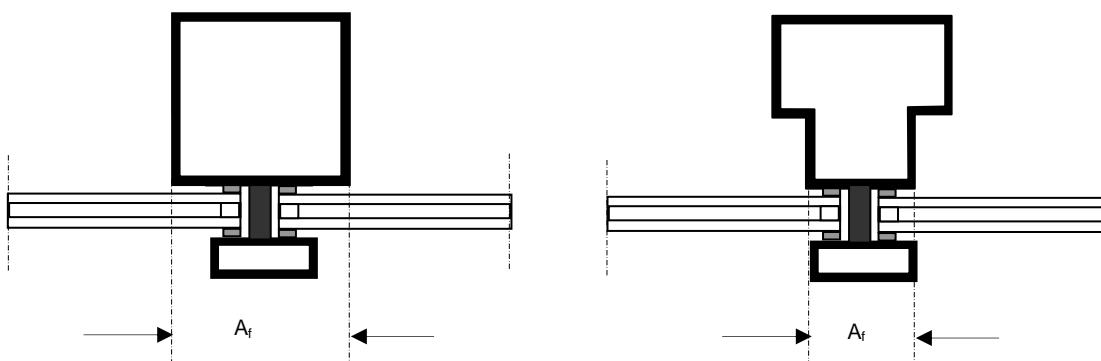


Figure 76 – Aires projetées visibles de la menuiserie

⁽¹⁾ Les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage (cf. Figure 76)

3.2.15.1.1.5 Détermination du coefficient surfacique moyen de la verrière

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

$$U_{cw,tot} = \frac{\sum (U_{cw,i} \cdot A_{cw,i})}{\sum A_{cw,i}} \quad (\text{Formule 129}) ;$$

Où

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

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

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

3.2.15.1.1.6 Renseignement de la verrière dans Th-BCE

La surface à renseigner dans la méthode Th-BCE correspond à la somme des surfaces des différents modules. Les coefficients de transmission thermique à la verticale et à l'horizontale doivent être considérés égaux entre eux et correspondent au $U_{cw,tot}$ calculé au paragraphe 0. L'inclinaison de la verrière doit être renseignée comme nulle.

3.2.15.1.2 Méthode détaillée

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

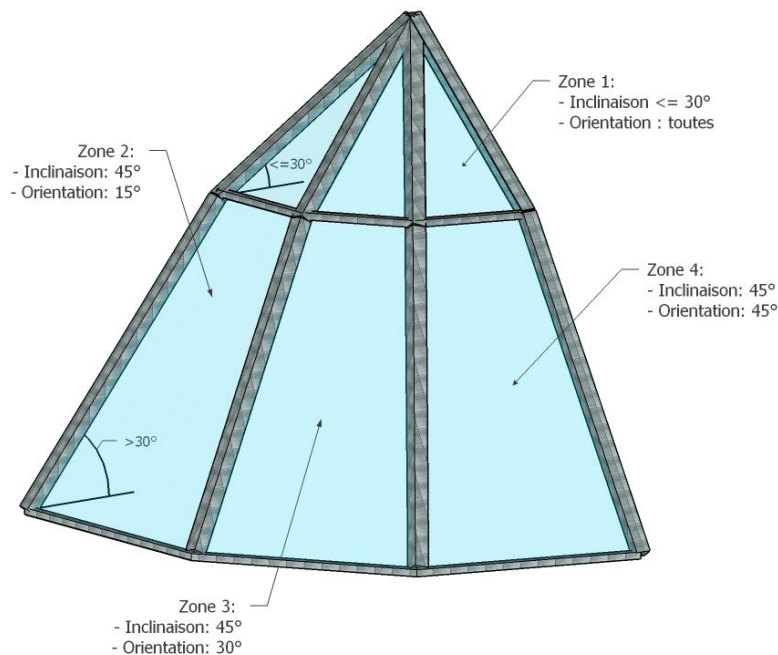


Figure 77 – Découpage de la verrière en zone selon l'inclinaison et l'orientation des modules

3.2.15.1.2.1 Division de la verrière en modules.

Les principes décrits au §.3.2.15.1.1.1 s'appliquent. Les modules d'inclinaisons inférieures à 30° peuvent être regroupés dans un module moyen calculé conformément au §.0. Les autres modules doivent être regroupés notamment en fonction de leur inclinaison et de leur orientation.

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

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

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

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

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

Les autres éléments des modules se calculent conformément au §.3.2.15.1.1.3.

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

Le calcul des coefficients surfaciques moyens à la verticale $U_{cw,v,i}$ et à l'horizontale $U_{cw,h,i}$ de chaque module se fait conformément au §.3.2.15.1.1.4 en considérant des valeurs de coefficient de transmission thermique de vitrage respectivement égales à $U_{gv,i}$ et $U_{gh,i}$, telles que calculées au §.3.2.15.1.1.2.

3.2.15.1.2.5 Renseignement de la verrière dans Th-BCE

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

Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces des différents modules. Les coefficients de transmission thermique à la verticale $U_{cw,v,i}$ et à l'horizontale $U_{cw,h,i}$ sont ceux calculés au paragraphe 3.2.15.1.1.6. L'inclinaison et l'orientation de chaque module doivent être renseignées ; pour le module moyen regroupant les modules de pentes inférieures à 30°, une inclinaison nulle doit être appliquée.

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

- Cas des protections extérieures sans lames inclinées :

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

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

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

Un calcul détaillé des facteurs de transmission solaire et lumineuse des vitrages avec et sans protection solaire est également possible. Les facteurs de transmission solaire et lumineuse $S_{g,i}$, $S_{gs,i}$, $TL_{g,i}$, $TL_{gs,i}$ des vitrages de chaque module et leurs composantes ne sont alors pas calculées selon le §.3.2.15.2.1.2 du présent document mais conformément aux normes NF EN ISO 52022-3 et XP P50-777.

- Cas des protections extérieures avec lames inclinées :

Pour des protections solaires non couvertes par la méthode ci-dessous, un calcul détaillé des facteurs de transmission solaire et lumineuse des vitrages avec et sans protection solaire est possible. Les facteurs de transmission solaire et lumineuse $S_{g,i}$, $S_{gs,i}$, $TL_{g,i}$, $TL_{gs,i}$ des vitrages de chaque module et leurs composantes ne sont alors pas calculées selon le §.3.2.15.2.1.2 du présent document mais conformément aux normes NF EN ISO 52022-3 et XP P50-777, en particulier son Annexe A concernant les stores à lames.

3.2.15.2.1 *Méthode simplifiée pour verrière d'inclinaison inférieure à 30°*

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

3.2.15.2.1.1 *Division de la verrière en modules.*

Les frontières des modules doivent être choisies de façon à obtenir des modules répétitifs juxtaposés simples à calculer. Le plus souvent, ces frontières sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la verrière. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

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

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

$$\left. \begin{array}{l} S_{g1,i} = \tau_e \\ S_{g2,i} = g - \tau_e \\ S_{g3,i} = 0 \end{array} \right\} S_{g,i} = S_{g1,i} + S_{g2,i} + S_{g3,i} \quad (\text{Formule 130}) ;$$

$$\left. \begin{array}{l} TL_{g,i} = \tau_v \\ TL_{g,i,dif} = 0 \end{array} \right\} \quad (\text{Formule 131}) ;$$

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

$$S_{gs1,i} = \frac{\tau_e \cdot \tau_{e,B}}{1 - \rho_e \cdot \rho'_{e,B}} \left. \begin{array}{l} S_{gs2,i} = 0.02 + \tau_{e,B} \cdot g + \frac{1 - \tau_{e,B} - \rho_{e,B}}{10 \cdot \left(\frac{1}{U_{gh,i}} + 0.3 \right)} + \frac{\tau_{e,B} \cdot (1 - g)}{5 \cdot \left(\frac{1}{U_{gh,i}} + 0.3 \right)} - \frac{\tau_e \cdot \tau_{e,B}}{1 - \rho_e \cdot \rho'_{e,B}} \\ S_{gs3,i} = 0 \end{array} \right\} S_{gs,i} = S_{gs1,i} + S_{gs2,i} + S_{gs3,i} \quad (\text{Formule 132}) ;$$

$$\left. \begin{array}{l} TL_{gsi} = \frac{\tau_v \cdot \tau_{v,B}}{1 - \rho_v \cdot \rho'_{v,B}} \\ TL_{gsi,dif} = \frac{\tau_v \cdot \tau_{v,B,dif}}{1 - \rho_v \cdot \rho'_{v,B}} \end{array} \right\} \quad (\text{Formule 133}) ;$$

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

$U_{gh,i}$ étant le coefficient de transmission surfacique utile du vitrage i , déterminé à l'horizontale conformément aux §.3.2.15.1.1.2.

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

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

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

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

$$\begin{aligned} S_{f,i} &= \frac{\alpha_{f,i} \cdot U_{f,i}}{25} \\ S_{p,i} &= \frac{\alpha_{p,i} \cdot U_{p,i}}{25} \end{aligned} \quad \text{(Formule 134) ;}$$

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

$$\begin{aligned} S_{fs,i} &= \tau_{e,B} \cdot \frac{\alpha_{f,i} \cdot U_{f,i}}{25} + \frac{1 - \tau_{e,B} - \rho_{e,B}}{10 \cdot \left(\frac{1}{U_{f,i}} + 0.3 \right)} + \frac{\tau_{e,B} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_{f,i} \cdot U_{f,i}}{25} \right)}{5 \cdot \left(\frac{1}{U_{f,i}} + 0.3 \right)} \\ S_{psi,i} &= \tau_{e,B} \cdot \frac{\alpha_{p,i} \cdot U_{p,i}}{25} + \frac{1 - \tau_{e,B} - \rho_{e,B}}{10 \cdot \left(\frac{1}{U_{p,i}} + 0.3 \right)} + \frac{\tau_{e,B} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_{p,i} \cdot U_{p,i}}{25} \right)}{5 \cdot \left(\frac{1}{U_{p,i}} + 0.3 \right)} \end{aligned} \quad \text{(Formule 135) ;}$$

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

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

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

3.2.15.2.1.4 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen Scw,i et $TLcw,i$ de chaque module.

$$S_{cw1,i} = \frac{\sum S_{g1} A_g}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad \text{(Formule 136) ;}$$

$$S_{cw2,i} = \frac{\sum S_{g2} A_g + \sum S_f A_f + \sum S_p A_p}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad (\text{Formule 137}) ;$$

$$S_{cws1,i} = \frac{\sum S_{gs1} A_g}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad (\text{Formule 138}) ;$$

$$S_{cws2,i} = \frac{\sum S_{gs2} A_g + \sum S_{fs} A_f + \sum S_{ps} A_p}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad (\text{Formule 139}) ;$$

$$S_{cw3,i} = S_{cws3,i} = 0 \quad (\text{Formule 140}) ;$$

$$TL_{cw,i} = \frac{\sum TL_g A_g}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad (\text{Formule 141}) ;$$

$$TL_{cw,dif,i} = \frac{\sum TL_{g,dif} A_g}{\sum (A_g + A_f + A_p)} \quad (\text{Formule 142}) ;$$

où

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

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

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

S_{g1} est la composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire, déterminée suivant le §.3.2.15.2.1.2.

S_{gs1} est la composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire avec protection solaire, déterminée suivant le §.3.2.15.2.1.2.

S_{g2} est la composante réémission du facteur de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire, déterminée suivant le §.3.2.15.2.1.2.

S_{gs2} est la composante réémission du facteur de transmission de l'énergie solaire avec protection solaire, déterminée suivant le §.3.2.15.2.1.2.

S_f est le facteur solaire du cadre sans protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.15.2.1.3.

S_{fs} est le facteur solaire du cadre avec protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.15.2.1.3.

S_p est le facteur solaire de l'élément de remplissage opaque sans protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.15.2.1.3.

S_{ps} est le facteur solaire de l'élément de remplissage opaque avec protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.15.2.1.3.

(1) les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage :

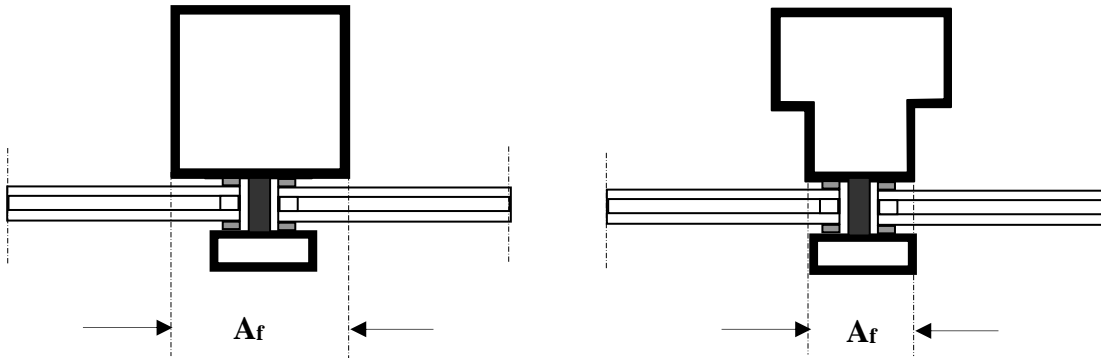


Figure 78 – Aires projetées visibles de la menuiserie

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

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

$$S_{cw1,tot} = \frac{\sum (S_{cw1i} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}} \quad \text{(Formule 143) ;}$$

$$S_{cw2,tot} = \frac{\sum (S_{cw2i} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}} \quad \text{(Formule 144) ;}$$

$$TL_{cw,tot} = \frac{\sum (TL_{cwi} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}} \quad \text{(Formule 145) ;}$$

$$TL_{cw,dif,tot} = \frac{\sum (TL_{cw,dif,i} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}} \quad \text{(Formule 146) ;}$$

Où

$X_{cw,tot}$ sont les facteurs moyens de la verrière

X_{cwi} sont les facteurs moyens du module i, déterminés au §.3.2.15.2.1.4.

A_{cwi} est l'aire du module i, en m².

3.2.15.2.1.6 Renseignement de la verrière dans Th-BCE

La surface à renseigner dans la méthode Th-BCE correspond à la somme des surfaces des différents modules. Les différentes composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse déterminées précédemment au paragraphe 3.2.15.2.1.5 doivent être renseignées. Les valeurs sans protection solaire en condition de consommation peuvent être prise égales à celles en condition de confort d'été et égales aux composantes S_{cw} ($S_{cw}^C = S_{cw}^E = S_{cw}$).

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

3.2.15.2.2 *Méthode détaillée*

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

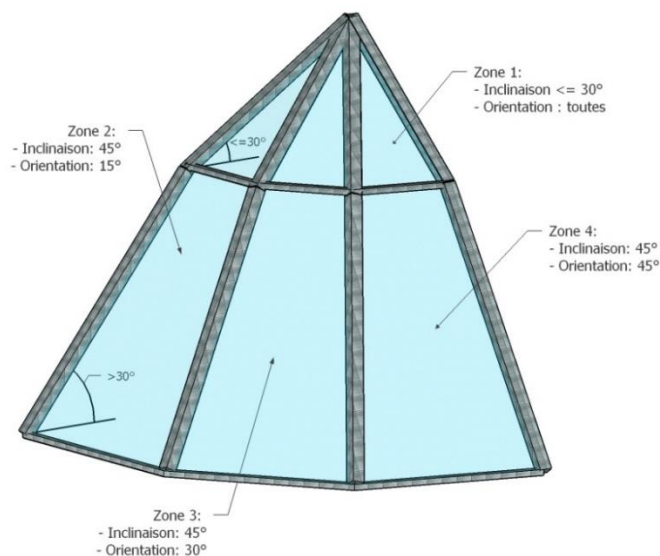


Figure 79 – Découpage de la verrière en zone selon l'inclinaison et l'orientation des modules

3.2.15.2.2.1 *Division de la verrière en modules.*

Les principes décrits au §.3.2.15.2.1.1 s'appliquent. Les modules d'inclinaisons inférieures à 30° peuvent être regroupés dans un module moyen calculé conformément au §.3.2.15.2.1.5. Les autres modules doivent être regroupés notamment en fonction de leur inclinaison et de leur orientation.

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

L'inclinaison n'a pas d'impact significatif sur le facteur solaire déterminé à incidence normale. Les valeurs de chaque module sont donc calculées selon le §.3.2.15.2.1.2 quelles que soient leurs inclinaisons.

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

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

Les autres éléments opaques des modules se calculent conformément au §.3.2.15.2.1.3.

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

Le calcul de chaque module se fait à l'aide des formules du §.3.2.15.2.1.4.

3.2.15.2.2.5 Renseignement de la verrière dans Th-BCE

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

Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces des différents modules. Les différentes composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse sont ceux calculés au paragraphe 3.2.15.2.2.4. Les valeurs sans protection solaire en condition de consommation peuvent être prise égales à celles en condition de confort d'été et égales aux composantes S_{cw} ($S_{cw}^C = S_{cw}^E = S_{cw}$).

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

3.2.16 VERANDAS

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

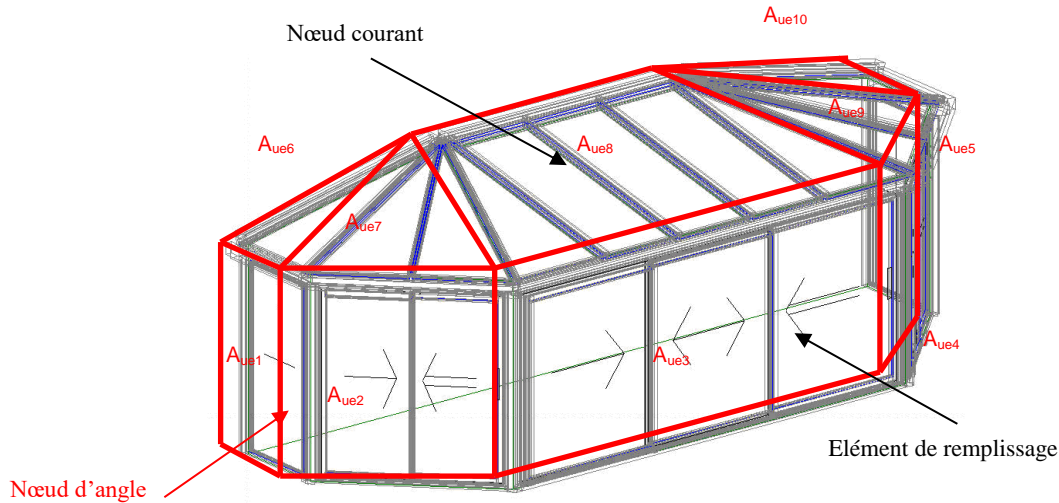


Figure 80 – Schéma d'une véranda

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

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

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

3.2.16.1 Coefficient de transmission thermique U_v de la véranda

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

$$U_v = \frac{\sum_i (U_{ue,i} \times A_{ue,i})}{\sum_i A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 147}) ;$$

où

$U_{ue,i}$: coefficient de transmission thermique de la paroi i pour chaque orientation et inclinaison (cf. §. 3.2.16) ;

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

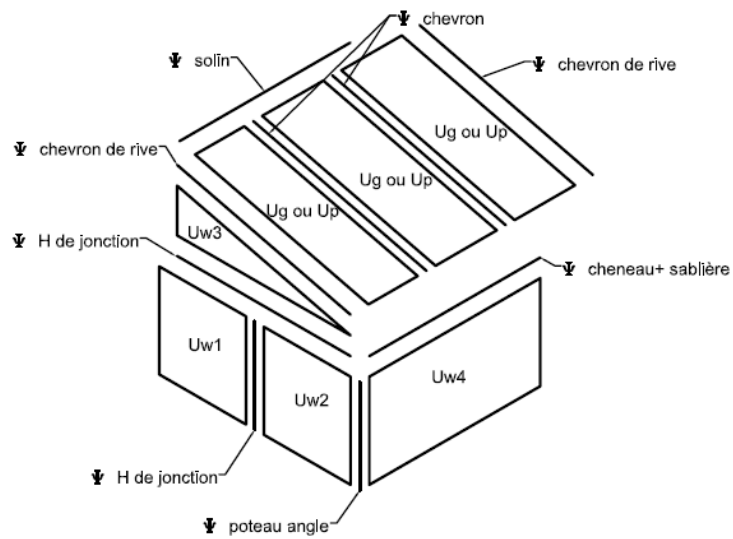


Figure 81 – Découpage de la véranda

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

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

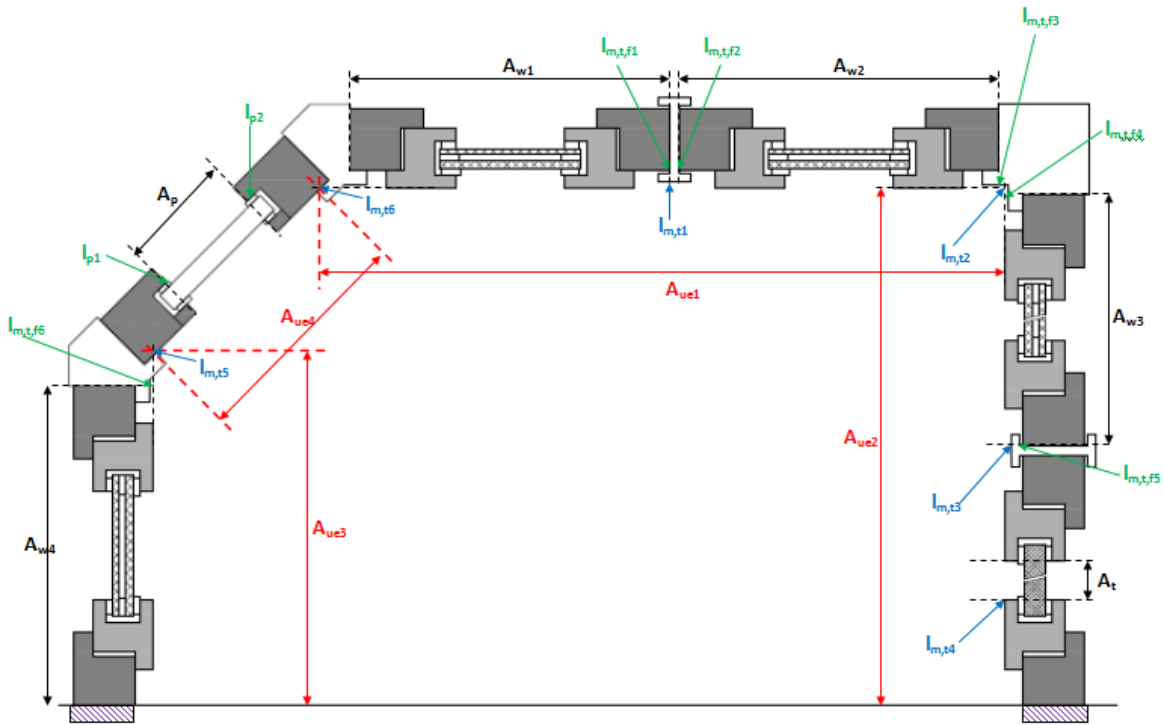


Figure 82 – Découpage de la véranda en coupes

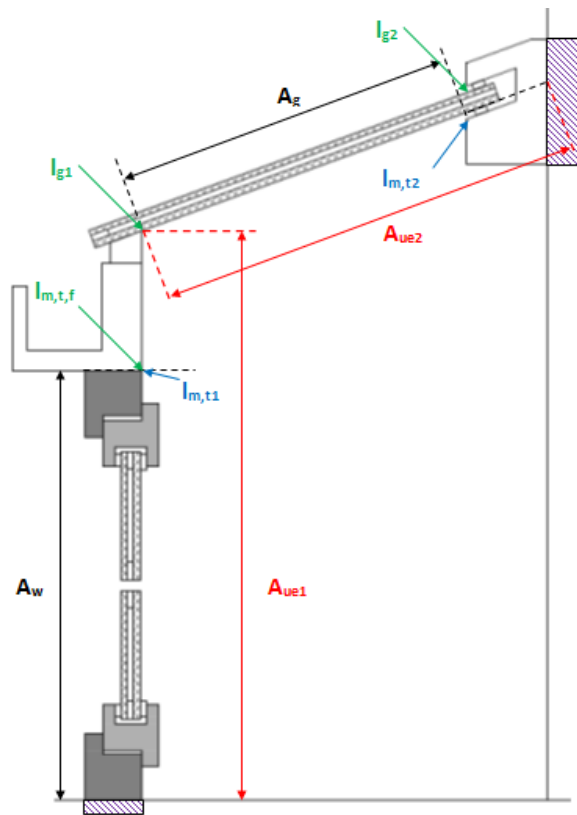


Figure 83 – Découpage entre une paroi verticale et une paroi inclinée

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

$$U_{ue,i} = \frac{\sum A_w \cdot U_w + \sum A_g \cdot U_g + \sum A_p \cdot U_p + \sum A_t \cdot U_t + \sum l_{m,t} \cdot \Psi_{m,t}^* + \sum l_g \cdot \Psi_g + \sum l_p \cdot \Psi_p + \sum l_{m,t,f} \cdot \Psi_{m,t,f}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 148}) ;$$

où :

- A_w : la plus petite surface intérieure de la fenêtre intégrée à la véranda, vue des deux côtés de la paroi, en m^2 .
- U_w : coefficient de transmission thermique surfacique utile de la fenêtre intégrée à la véranda, en $W/(m^2.K)$, déterminé par le paragraphe 3.2.1.1 ;
- A_g : la plus petite surface des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi, en m^2 , sans tenir compte des débordements des joints, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda ;
- U_g : coefficient de transmission thermique surfacique utile en partie centrale des vitrages, en $W/(m^2.K)$, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda ;
- A_p : la plus petite surface des aires visibles des panneaux opaques, vues des deux côtés de la paroi, en m^2 ;
- U_p : coefficient de transmission thermique surfacique utile des panneaux opaques, en $W/(m^2.K)$, déterminé avec le document Méthodes - fascicule Parois opaques, en tenant compte des ponts thermiques intégrés au panneau ;
- A_t : la plus petite surface des aires visibles des panneaux translucides en polycarbonate, vues des deux côtés de la paroi, en m^2 ;
- U_t : coefficient de transmission thermique surfacique utile des panneaux translucides en polycarbonate, en $W/(m^2.K)$, déterminé par le paragraphe 3.2.16.1.3.3 ;
- $l_{m,t}$: linéique du montant ou de la traverse d'ossature, défini par l'intersection des deux plans intérieurs pour un nœud d'angle et à l'axe du profilé pour un nœud courant, en m.
- $\Psi_{m,t}^*$: coefficient de transmission thermique linéique du montant ou de la traverse d'ossature, en $W/(m.K)$. Si le nœud se situe en angle, $\Psi_{m,t}^* = \Psi_{m,t} / 2$, sinon $\Psi_{m,t}^* = \Psi_{m,t}$. Le coefficient de transmission thermique linéique du montant ou de la traverse d'ossature $\Psi_{m,t}$ est déterminé selon le paragraphe 3.2.16.1.2.1 ;
- $A_{ue,i}$: surface intérieure développée de l'élément i, définie par la surface comprise entre les intersections des plans côté intérieur de la véranda, en m^2 ;
- l_p : linéique de la jonction entre profilé et panneau de remplissage opaque, en m ;
- Ψ_p : coefficient de transmission thermique linéique de la jonction profilé / panneau de remplissage opaque, en $W/(m.K)$, déterminé par le paragraphe 3.2.16.1.2 ;
- l_g : linéique de la jonction profilé / vitrage, en m, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda ;
- Ψ_g : coefficient de transmission thermique linéique de la jonction profilé / vitrage, en $W/(m.K)$, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, déterminé par le paragraphe 3.2.16.1.2 ;
- $l_{m,t,f}$: linéique de la jonction entre profilé des fenêtre et profilé de structure, en m ;
- $\Psi_{m,t,f}$: coefficient de transmission thermique linéique de la jonction entre profilé des fenêtre et profilé de structure, en $W/(m.K)$, déterminé à partir du §. 3.2.16.1.3.

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

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

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

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

$$\Psi_g = \frac{\varphi}{\Delta T} - l_g \cdot U_g - \Psi_{m,t} \quad (\text{Formule 149}) ;$$

$$\Psi_p = \frac{\varphi}{\Delta T} - l_p \cdot U_p - \Psi_{m,t} \quad (\text{Formule 150}) ;$$

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

$$\Psi_g = \frac{\frac{\varphi}{\Delta T} - l_{g1} \cdot U_{g1} - l_{g2} \cdot U_{g2} - \Psi_{m,t}}{2} \quad (\text{Formule 151}) ;$$

$$\Psi_p = \frac{\frac{\varphi}{\Delta T} - l_{p1} \cdot U_{p1} - l_{p2} \cdot U_{p2} - \Psi_{m,t}}{2} \quad (\text{Formule 152}) ;$$

Où :

- φ : densité de flux thermique traversant le modèle numérique représentant le vitrage (ou le panneau) et son intercalaire, en W/m ;
- ΔT : différence de température entre les ambiances chaudes et froides, en K ;
- l_g, l_p : largeur du vitrage (ou du panneau) dans le modèle numérique ;
- U_g, U_p : coefficient de transmission thermique du vitrage (ou du panneau), déterminé à partir selon la norme NF EN 673. (ou du document Méthodes - fascicule Parois opaques des règles Th-Bât dans le cas d'un panneau) ;
- $\Psi_{m,t}$: coefficient de transmission thermique linéique du profilé d'ossature, en W/(m.K), déterminé à partir du paragraphe 3.2.16.1.2.1.

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

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

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

3.2.16.1.2.2 Conditions aux limites

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

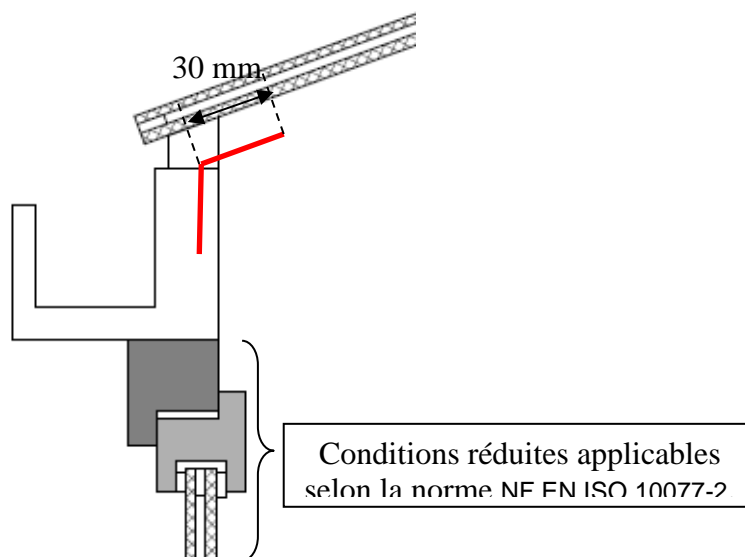


Figure 84 – Conditions aux limites

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

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

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

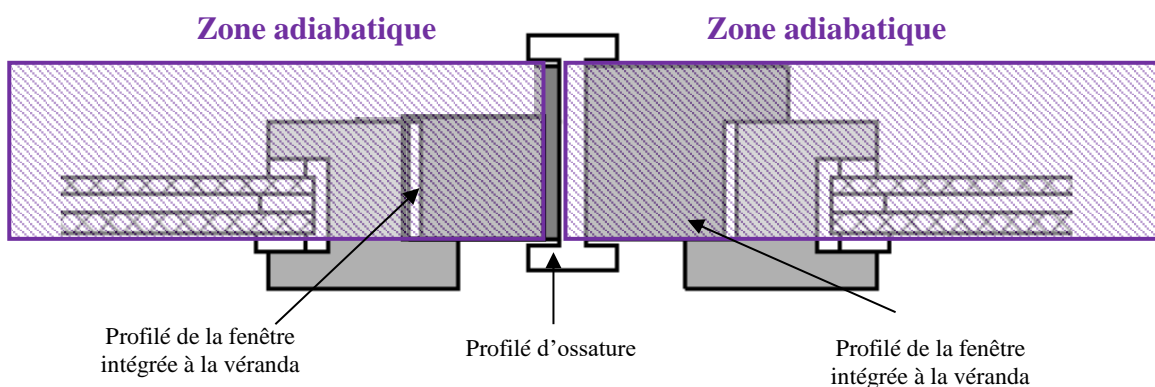


Figure 85 – Coupe d'un profilé d'ossature liant deux fenêtres (partie plane)

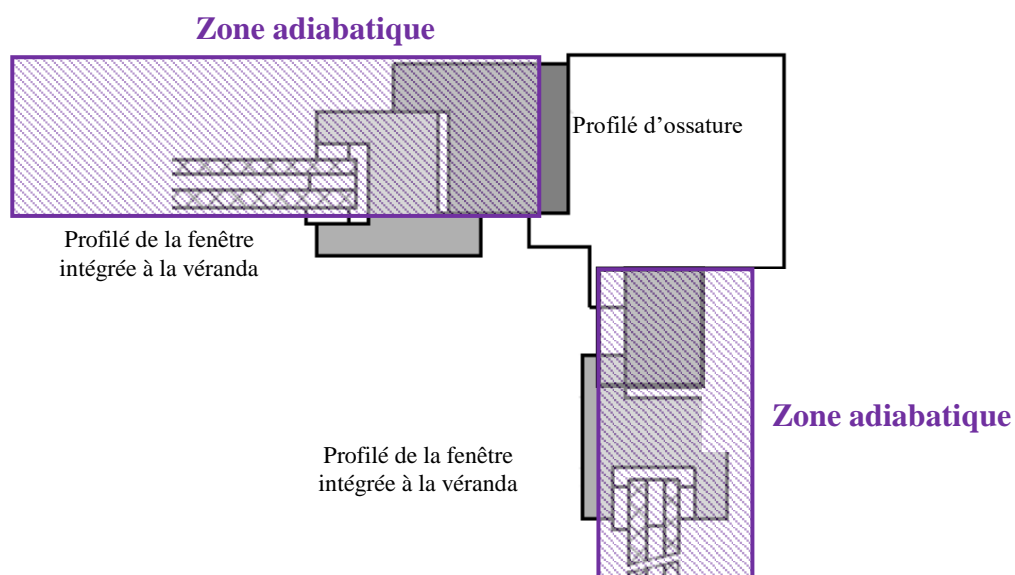


Figure 86 – Coupe d'un profilé d'ossature liant deux fenêtres (en angle)

$$\Psi_{m,t} = \frac{\varphi}{\Delta T} \quad \text{(Formule 153) ;}$$

Où :

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

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

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

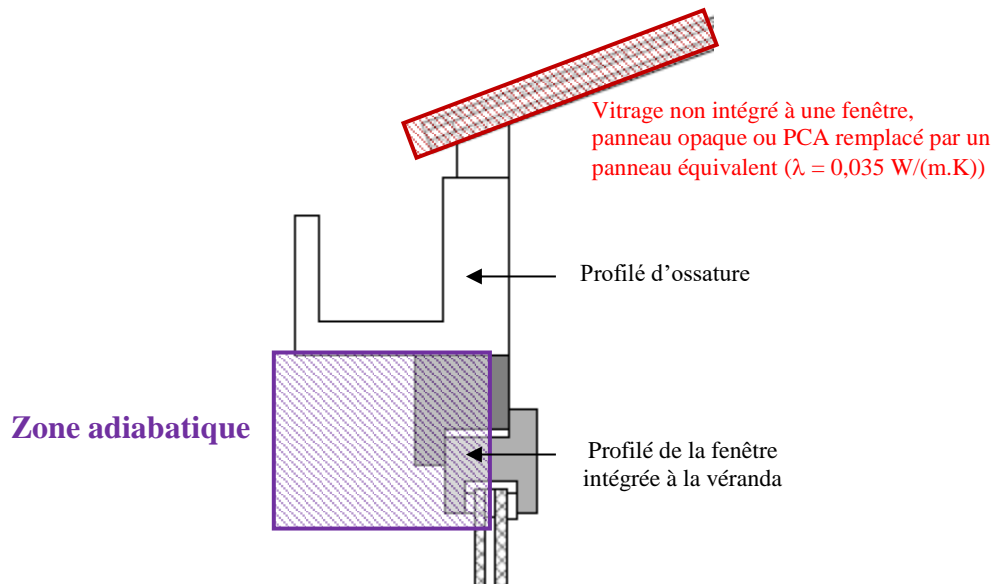


Figure 87 – Coupe d'un profilé d'ossature liant une fenêtre à un autre remplissage (PCA ou panneau opaque)

$$\Psi_{m,t} = \frac{\varphi}{\Delta T} - l_{p1} \cdot U_{p1} \quad (\text{Formule 154}) ;$$

Où :

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

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

3.2.16.1.3.1 Méthode de calcul

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

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

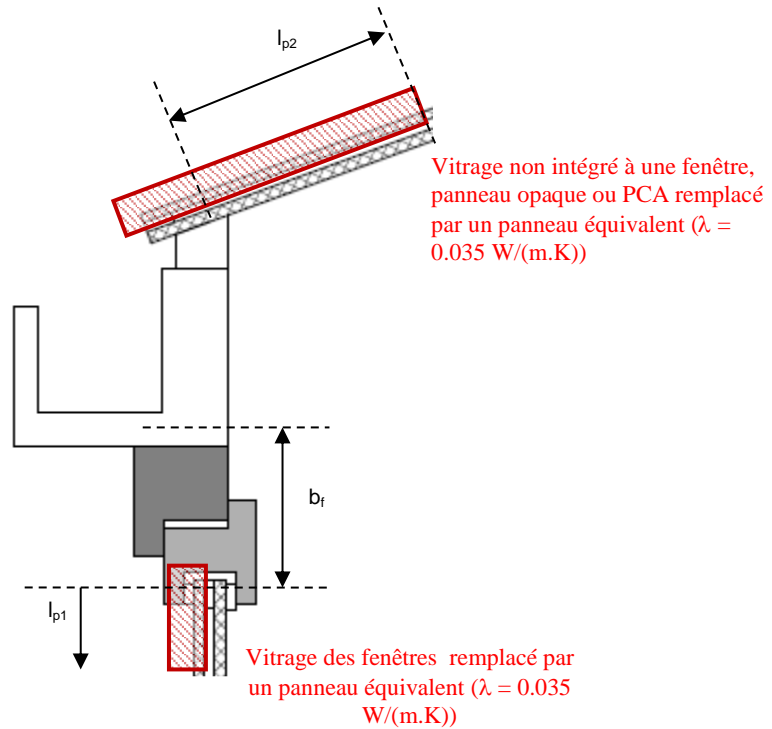


Figure 88 – Coupe d'une sablière ou d'un profilé d'ossature en contact avec un mur

$$\Psi_{m,t,f} = \frac{\Phi}{\Delta T} - l_{p1} \cdot U_{p1} - l_{p2} \cdot U_{p2} - b_f \cdot U_f - \Psi_{m,t} \quad (\text{Formule 155}) ;$$

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

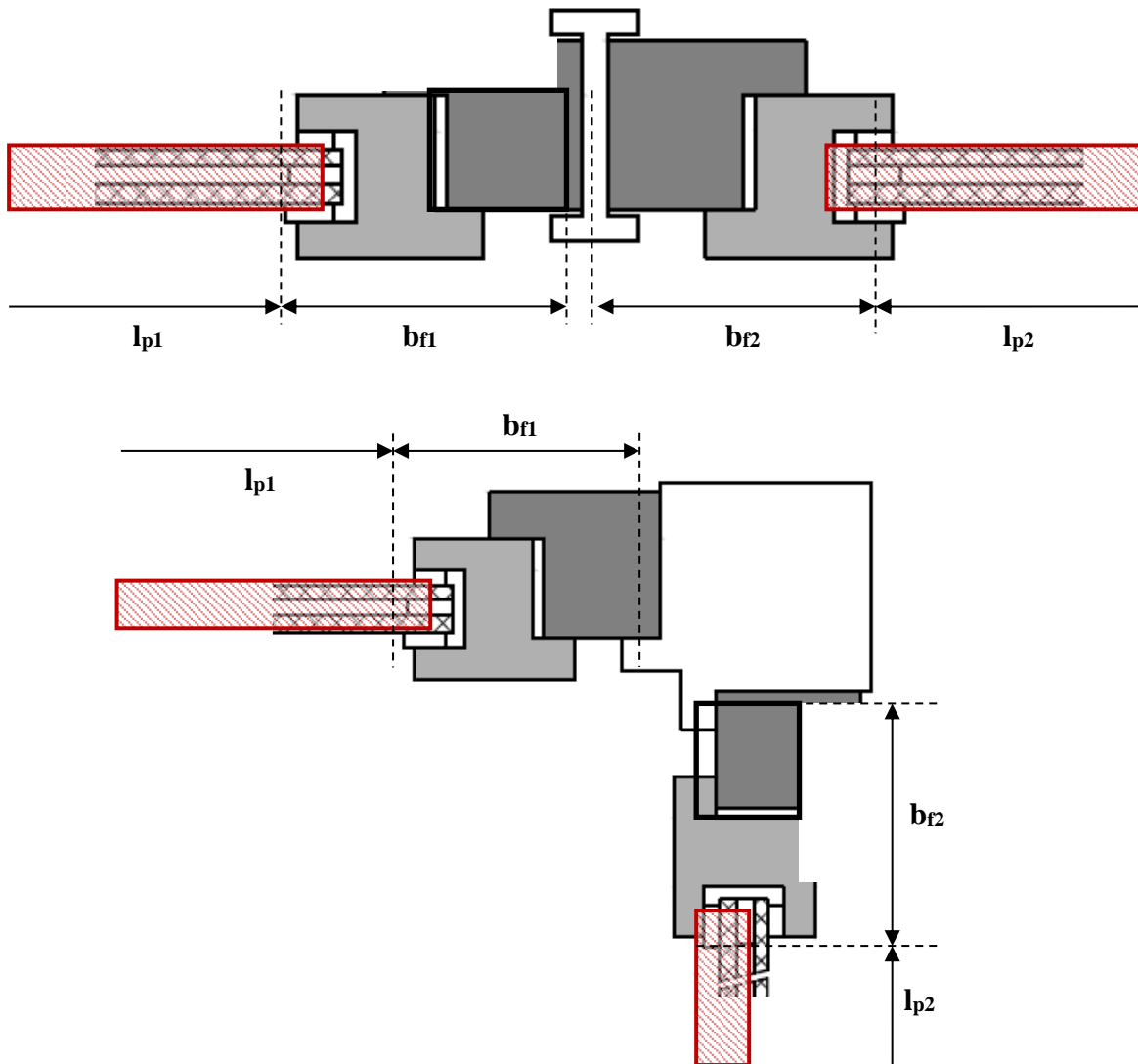


Figure 89 – Coupe d'un profilé d'ossature est en contact avec deux fenêtres adjacentes

$$\Psi_{m,t,f} = \frac{\frac{\varphi}{\Delta T} - l_{p1} \cdot U_{p1} - l_{p2} \cdot U_{p2} - b_{f1} \cdot U_{f1} - b_{f2} \cdot U_{f2} - \Psi_{m,t}}{2} \quad (\text{Formule 156}) ;$$

Où :

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

- l_{p2} : largeur du panneau équivalent 2 dans le modèle numérique (considérer $l_{p2} \geq 0,19$ m) ;
- U_{p2} : coefficient de transmission thermique du panneau équivalent 2, déterminé à partir du document Méthodes - Parois opaques des règles Th-Bât ;
- b_{f1} : largeur du profilé 1, défini dans la norme NF EN ISO 10077-2 ;
- U_{f1} : coefficient de transmission thermique du profilé 1, défini dans la norme NF EN ISO 10077-2 ;
- b_{f2} : largeur du profilé 2, défini au paragraphe dans la norme NF EN ISO 10077-2 ;
- U_{f2} : coefficient de transmission thermique du profilé 2, défini au paragraphe dans la norme NF EN ISO 10077-2 ;
- $\Psi_{m,t}$: coefficient de transmission thermique linéique du profilé d'ossature, déterminé selon le paragraphe 3.2.16.1.2.3.

3.2.16.1.3.2 Valeurs par défaut

A défaut de calcul selon le paragraphe § 3.2.16.1.3.1, les valeurs par défauts suivantes peuvent être utilisées pour le coefficient de transmission thermique linéique $\Psi_{m,t,f}$ des jonctions entre profilés d'ossature et profilés d'encadrement des fenêtres.

Tableau 22 - Coefficient $\Psi_{m,t,f}$ pour tout type d'ossature :

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

Tableau 23 - Coefficient $\Psi_{m,t,f}$ dans le cas où la RPT de la partie fixe de la fenêtre est alignée avec la RPT du profilé d'ossature :

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

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

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

$$U_t = \frac{\varphi}{\Delta T \cdot b_t} \quad (\text{Formule 157}) ;$$

Avec :

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

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

b_t : Largeur du modèle numérique, en m. Dans le cas où le panneau en polycarbonate comporte des emboitements sans profilés apparents, le modèle numérique doit être centré sur l'emboitement et sa largeur doit correspondre à la largeur des panneaux. Si les panneaux sont joints par des profilés apparents, ces profilés sont calculés sous forme de $\Psi_{m,t}$ (cf. paragraphe 3.2.16.1.2.3).

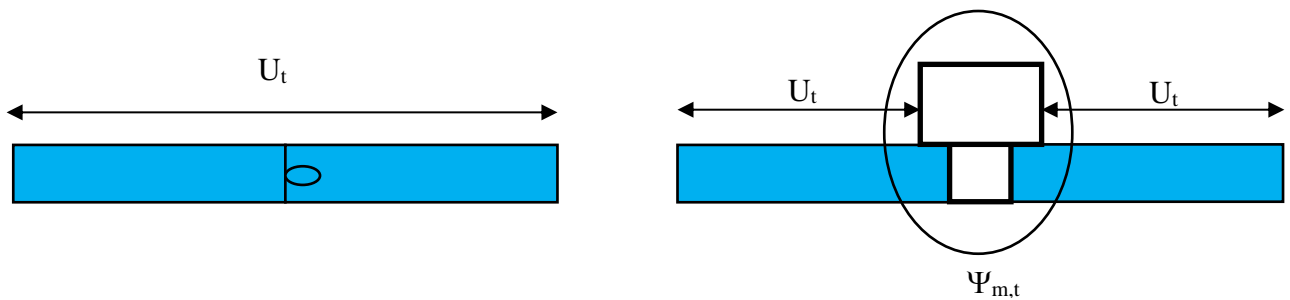


Figure 90 – Jonction de deux panneaux en polycarbonate sans et avec profilés apparents

3.2.16.1.4 Ponts thermiques de liaison véranda chauffée / structure :

Se reporter aux Ψ des jonctions fenêtres/ouvrage indiqués au du document Méthodes – Ponts thermiques des règles Th-Bât.

Pour les jonctions solins/mur et jonctions verticales/mur, à défaut de valeurs calculées, les valeurs de pont thermique de liaison Ψ du document Méthodes - Ponts thermiques des règles Th-Bât correspondant aux seuils de porte peuvent être utilisées.

3.2.16.2 Facteurs de transmission solaire S_w de la véranda

Cette méthode n'est valable que si les protections solaires éventuellement présentes sont associées à des vitrages (et non à des panneaux translucides en polycarbonate).

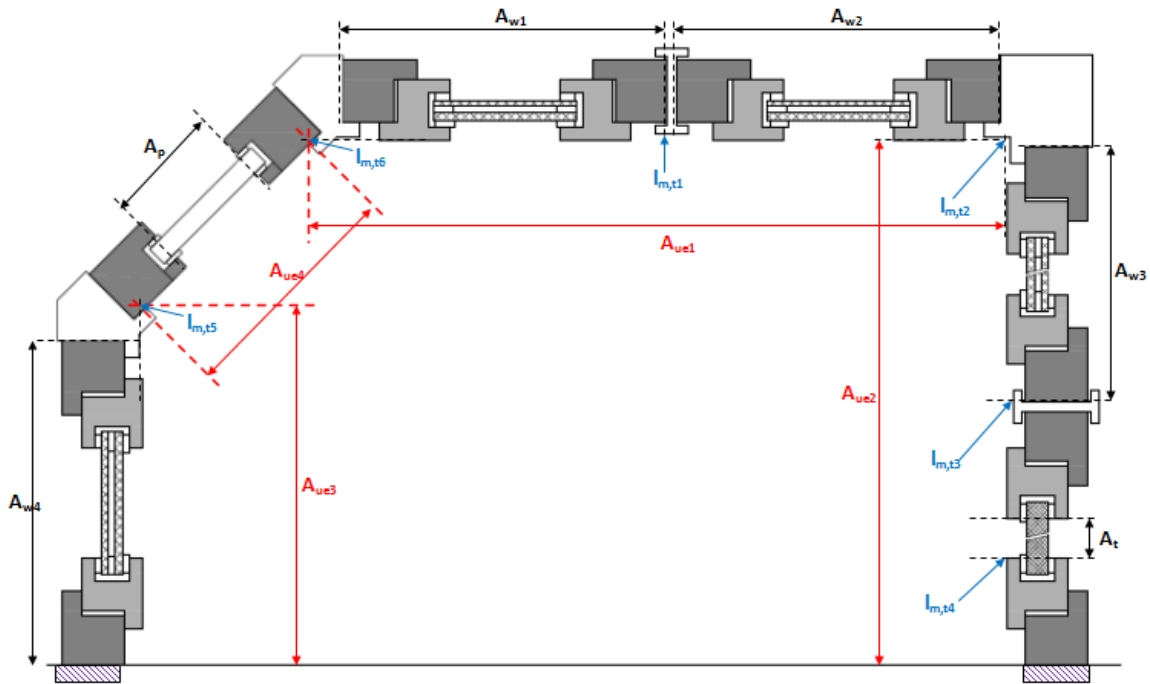


Figure 91 – Découpage de la véranda en coupes

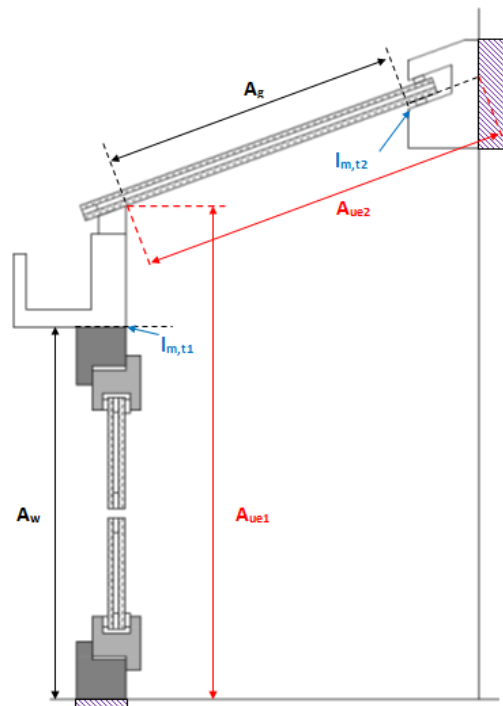


Figure 92 – Découpage entre une paroi verticale et une paroi inclinée

3.2.16.2.1 *Vérandas non chauffées*

Pour chaque orientation et inclinaison, les facteurs de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire $S_{we-sp,i}$ et avec protection solaire pleinement déployée $S_{we-ap,i}$ de la paroi s'obtiennent par les formules suivantes :

$$S_{we-sp,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_w + \sum A_g \cdot S_g + \sum A_p \cdot S_p + \sum A_t \cdot S_t + \sum l_{m,t} \cdot \frac{\alpha_{e,m,t} \Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 158}) ;$$

$$S_{we-ap,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{ws} + \sum A_g \cdot S_{gs} + \sum A_p \cdot S_p + \sum A_t \cdot S_t + \sum l_{m,t} \cdot \frac{\alpha_{e,m,t} \Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 159}) ;$$

avec :

- A_w : la plus petite surface intérieure de la fenêtre intégrée à la véranda, vue des deux côtés de la paroi, en m².
- S_w, S_{ws} : facteurs de transmission de l'énergie solaire de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec ou sans protection, déterminés à partir de la norme XP P50-777.
- A_g : la plus petite surface des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi, en m², sans tenir compte des débordements des joints, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda.
- S_g, S_{gs} : facteurs de transmission de l'énergie solaire en partie centrale des vitrages, l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec ou sans protection solaire, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.2.1., 11.2.2. et 11.2.3. de la norme XP P50-777.
- A_p : la plus petite surface des aires visibles des panneaux opaques, vues des deux côtés de la paroi, en m².
- S_p : facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux opaques, en W/(m².K), déterminé par le paragraphe 3.2.16.2.3.1.
- A_t : la plus petite surface des aires visibles des panneaux translucides en polycarbonate, vues des deux côtés de la paroi, en m².
- S_t : facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux translucides en polycarbonate, en W/(m².K), déterminé par le paragraphe 3.2.16.2.3.2.
- $l_{m,t}$: linéique du montant ou de la traverse d'ossature, défini par l'intersection des deux plans pour un nœud d'angle et à l'axe du profilé pour un nœud courant, en m.
- $\Psi_{m,t}^*$: coefficient de transmission thermique linéique du montant ou de la traverse d'ossature, en W/(m.K). Si le nœud se situe en angle, $\Psi_{m,t}^* = \Psi_{m,t} / 2$, sinon $\Psi_{m,t}^* = \Psi_{m,t}$. Le coefficient de transmission thermique linéique du montant ou de la traverse d'ossature $\Psi_{m,t}$ est déterminé selon le paragraphe 3.2.16.1.2.1.
- $A_{ue,i}$: surface intérieure développée de l'élément i, définie par la surface comprise entre les intersections des plans côté intérieur de la véranda, en m².
- $\alpha_{e,m,t}$: coefficient d'absorption énergétique extérieur du montant ou de la traverse.
- h_e : coefficient d'échange superficiel extérieur, en W/(m².K).

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

$$\alpha_{e,m,t} = 0.60$$

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

Note 1 : en cohérence avec la norme XP P50-777, l'impact des ponts thermiques dus aux jonctions entre éléments de remplissage et profilés sur les apports solaires est négligé.

Note 2 : un correctif dû à la prise en compte de l'incidence variable sur les fenêtres et vitrages devraient être considéré. Par soucis de simplification et au vu du faible impact de ce correctif (0.95 à 1 dans la majorité des cas), il est négligé.

3.2.16.2.2 Vérandas chauffées

En cas de véranda chauffée, les parois doivent être saisies comme des baies : la décomposition des facteurs solaires en composantes courte longueur d'onde « 1 » et réémise « 2 » ainsi que la distinction entre condition de référence « C » et d'été « E » sont requises et s'expriment par :

$$S_{w1-sp-c,b,i} = S_{w1-sp-e,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{w1} + \sum A_g \cdot S_{g1} + \sum A_t \cdot S_{t1}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 160}) ;$$

$$S_{w2-sp-c,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{w2}^C + \sum A_g \cdot S_{g2}^C + \sum A_p \cdot S_p + \sum A_t \cdot S_{t2} + \sum l_{m,t} \cdot \frac{\alpha_{e,m,t} \Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 161}) ;$$

$$S_{w2-sp-e,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{w2}^E + \sum A_g \cdot S_{g2}^E + \sum A_p \cdot S_p + \sum A_t \cdot S_{t2} + \sum l_{m,t} \cdot \frac{\alpha_{e,m,t} \Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 162}) ;$$

$$S_{w1-ap-c,b,i} = S_{w1-ap-e,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{ws1} + \sum A_g \cdot S_{gs1}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 163}) ;$$

$$S_{w2-ap-c,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{ws2}^C + \sum A_g \cdot S_{gs2}^C + \sum A_p \cdot S_p + \sum A_t \cdot S_t + \sum l_{m,t} \cdot \frac{\alpha_{e,m,t} \Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 164}) ;$$

$$S_{w2-ap-e,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{ws2}^E + \sum A_g \cdot S_{gs2}^E + \sum A_p \cdot S_p + \sum A_t \cdot S_t + \sum l_{m,t} \cdot \frac{\alpha_{e,m,t} \Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 165}) ;$$

$$S_{w3-ap-c,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{ws3}^C + \sum A_g \cdot S_{gs3}^C}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 166}) ;$$

$$S_{w3-ap-e,b,i} = \frac{\sum A_w \cdot S_{ws3}^E + \sum A_g \cdot S_{gs3}^E}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 167}) ;$$

avec :

- S_{w1} , S_{ws1} : composante courte longueur d'onde des facteurs de transmission de l'énergie solaire de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec ou sans protection, déterminés à partir de la norme XP P50-777.
- S_{w2}^C , S_{ws2}^C , S_{w2}^E , S_{ws2}^E : composante réémise des facteurs de transmission de l'énergie solaire de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec ou sans protection et en condition de référence ou d'été, déterminées à partir de la norme XP P50-777.
- S_{ws3}^C , S_{ws3}^E : composante de ventilation de la lame d'air intérieur de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec protection intérieure et en condition de référence ou d'été, déterminées à partir de la norme XP P50-777.
- S_{g1} , S_{gs1} : composante courte longueur d'onde des facteurs de transmission de l'énergie solaire en partie centrale des vitrages, l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec ou sans protection solaire, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.2.1., 11.2.2. et 11.2.3. de la norme XP P50-777.
- S_{g2}^C , S_{gs2}^C , S_{g2}^E , S_{gs2}^E : composante réémise des facteurs de transmission de l'énergie solaire en partie centrale des vitrages, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec ou sans protection solaire et en condition de référence ou d'été, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.2.1., 11.2.2. et 11.2.3. de la norme XP P50-777.

- S_{gs3}^C , S_{gs3}^E : composante de ventilation de la lame d'air intérieur en partie centrale des vitrages, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec protection solaire intérieure et en condition de référence ou d'été, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.2.1., 11.2.2. et 11.2.3. de la norme XP P50-777.
- S_{t1} : composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux translucides en polycarbonate, en $W/(m^2.K)$, déterminé par le paragraphe 3.2.16.2.3.2.
- S_{t2} : composante réémission du facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux translucides en polycarbonate, en $W/(m^2.K)$, déterminé par le paragraphe 3.2.16.2.3.2.

3.2.16.2.3 *Facteur de transmission de l'énergie solaire des éléments de remplissage non vitrés*

Les éléments de remplissages peuvent être constitués de panneaux opaques (S_p) ou de panneaux translucides en polycarbonate (S_t). La décomposition en composantes courte longueur d'onde, grande longueur d'onde + convective et ventilation n'est pas requise.

3.2.16.2.3.1 *Remplissage de type panneau opaque*

Le coefficient de transmission de l'énergie solaire du panneau opaque S_p se calcule à partir de la formule suivante :

$$S_p = \alpha_{ep} \frac{U_p}{h_e} \quad (\text{Formule 168}) ;$$

Avec :

U_p : Coefficient de transmission thermique du panneau opaque, en $W/(m^2.K)$ déterminé dans le document méthodes - Parois opaques des Règles Th-Bât en tenant compte des ponts thermiques intégrés au panneau.

α_{ep} : Coefficient d'absorption énergétique moyen de la face extérieure du panneau opaque.

h_e : Coefficient d'échange thermique superficiel extérieur, en $W/(m^2.K)$.

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

$$\alpha_{ep} = 0.60$$

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

3.2.16.2.3.2 *Remplissage de type panneau polycarbonate*

Le facteur de transmission de l'énergie solaire du panneau translucide polycarbonate S_t se calcule en additionnant les composantes 1 et 2 déterminées à partir du paragraphe 3.2.8.2.

Dans le cas d'un panneau en polycarbonate sans profilé apparent, le facteur de transmission de l'énergie solaire déterminé au centre du panneau est supposé s'appliquer sur tout le panneau. Si les panneaux sont joints par des profilés apparents (même translucides), ces profilés sont calculés sous forme de $\Psi_{m,t}$.

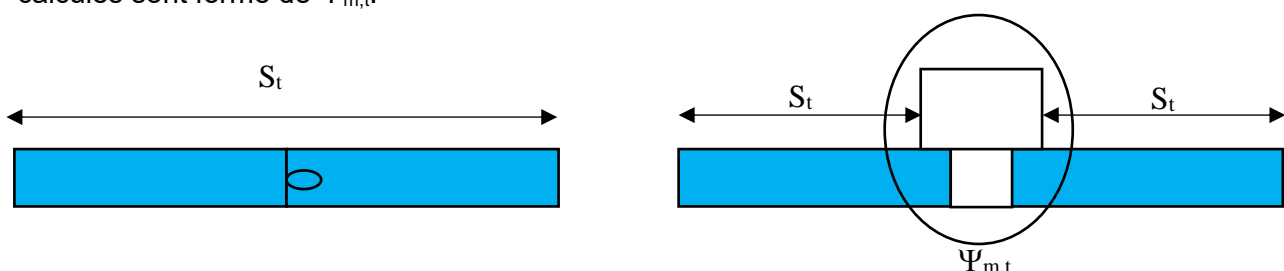


Figure 93 – Jonction de deux panneaux en polycarbonate sans et avec profilés apparents

Note 1 : le correctif appliqué pour tenir compte de l'incidence variable sur les plaques de PCA est supposés identique pour les plaques verticales et horizontales.

Note 2 : en cas de véranda chauffée, le facteur solaire de l'élément polycarbonate se décompose en composante courte longueur d'onde « 1 » et réémise « 2 » conformément au paragraphe 3.2.8.2.

3.2.16.2.4 Intégration dans l'ouvrage, prise en compte des masques

L'intégration dans l'ouvrage se fait directement dans la méthode de destination en renseignant tout masque proche, qu'il soit lié au bâtiment support de la véranda (par exemple débord de toit, mur de refend adjacent...) ou aux éléments de la véranda elle-même (par exemple de débord extérieur lié à la sablière). Toutefois, dans ce dernier cas, si le débord extérieur du masque est inférieur au dixième de la hauteur de la paroi verticale, son effet peut être négligé.

3.2.16.3 Facteurs de transmission lumineuse $TL_{e-sp,i}$ et $TL_{e-ap,i}$ de la véranda

Cette méthode n'est valable que si les protections solaires éventuellement présentes sont associées à des vitrages (et non à des panneaux translucides en polycarbonate).

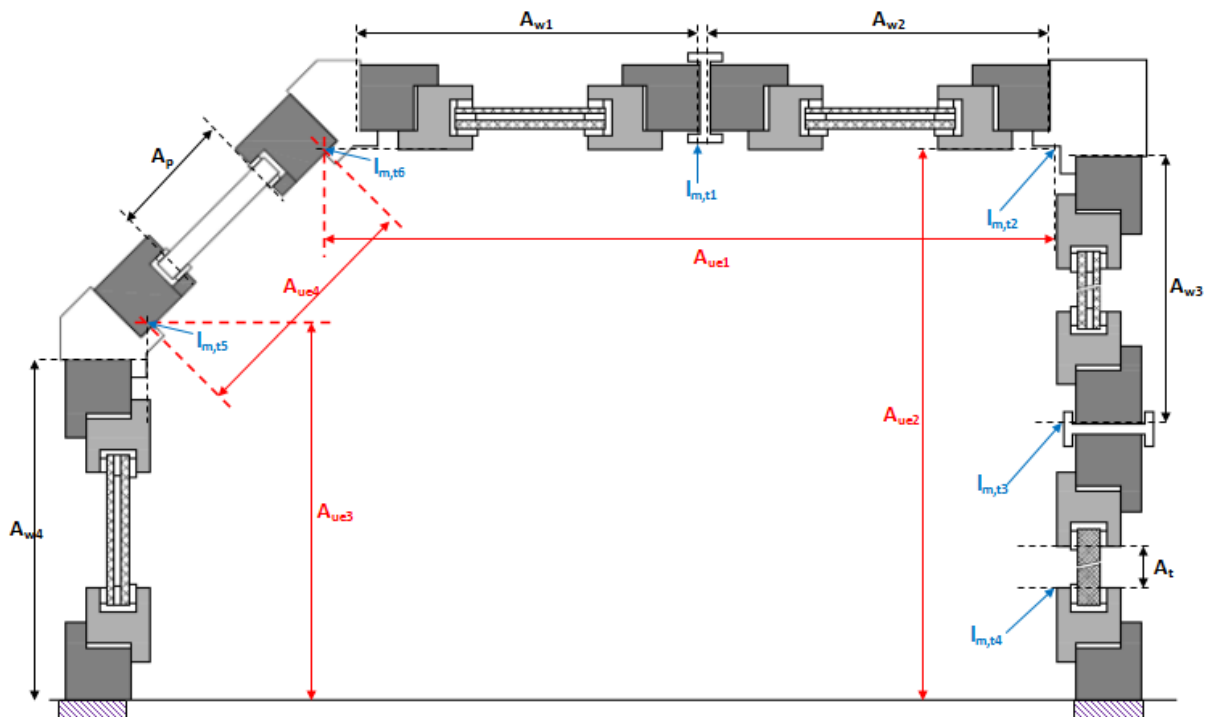


Figure 94 – Découpage de la véranda en coupes

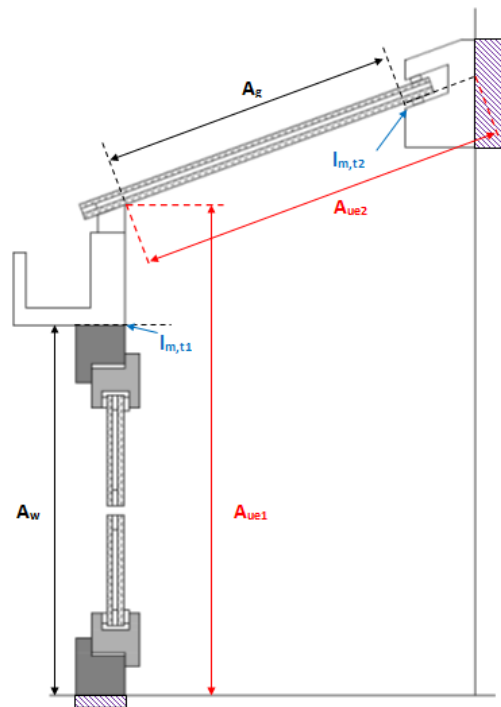


Figure 95 – Découpage entre une paroi verticale et une paroi inclinée

Pour chaque orientation et inclinaison, les facteurs de transmission lumineuse sans protection solaire $TL_{e-sp,i}$ et avec protection solaire pleinement déployée $TL_{e-ap,i}$ de la paroi s'obtiennent par les formules suivantes :

$$TL_{e-sp,i} = \frac{\sum A_w \cdot TL_w + \sum A_g \cdot TL_g + \sum A_t \cdot TL_t}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 169}) ;$$

$$TL_{e-ap,i} = \frac{\sum A_w \cdot TL_{ws} + \sum A_g \cdot TL_{gs} + \sum A_t \cdot TL_t}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 170}) ;$$

avec :

- A_w : la plus petite surface intérieure de la fenêtre intégrée à la véranda, vue des deux côtés de la paroi, en m^2 .
- TL_w , TL_{ws} : facteurs de transmission lumineuse de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec ou sans protection, déterminés à partir de la norme XP P50-777.
- A_g : la plus petite surface des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi, en m^2 , sans tenir compte des débordements des joints, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda.
- TL_g , TL_{gs} : facteurs de transmission lumineuse en partie centrale des vitrages, l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec ou sans protection solaire, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.3.1. et 11.3.2. de la norme XP P50-777.
- A_t : la plus petite surface des aires visibles des panneaux translucides en polycarbonate, vues des deux côtés de la paroi, en m^2 .
- TL_t : facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux translucides en polycarbonate, en $W/(m^2.K)$, déterminé par le paragraphe 3.2.16.3.1.1.

Note 1 : un correctif dû à la prise en compte de l'incidence variable sur les fenêtres et vitrages devraient être considéré. Par soucis de simplification et au vu du faible impact de ce correctif (0.95 à 1 dans la majorité des cas), il est négligé.

Note 2 : en cas de véranda chauffée, les parois doivent être saisies comme des baies : la part diffusée en cas de protection solaire déployée est requise et s'exprime par :

$$Tlid_{ap,b,i} = \frac{\sum A_w.TL_{ws,dif} + \sum A_g.TL_{gs,dif}}{A_{ue,i}} \quad (\text{Formule 171}) ;$$

avec :

- $TL_{ws,dif}$: part diffusée par la protection solaire du facteur de transmission lumineuse de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, déterminée à partir de la norme XP P50-777.
- $TL_{gs,dif}$: part diffusée du facteur de transmission lumineuse en partie centrale des vitrages, l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.3.1. et 11.3.2. de la norme XP P50-777.

3.2.16.3.1 Facteur de transmission lumineuse des éléments de remplissage non vitrés

Les éléments de remplissages peuvent être constitués de panneaux opaques ($TL_p = 0$) ou de panneaux translucides en polycarbonate (TL_t). La part diffusée par le polycarbonate est négligée ($TL_{t,dif} = 0$) ce qui correspond à des produits transparents.

3.2.16.3.1.1 Remplissage de type panneau polycarbonate

Le facteur de transmission lumineuse du panneau translucide polycarbonate TL_t se calcule à partir de la formule suivante :

$$TL_t = 0.85 \times \tau_{v,n-h} \quad (\text{Formule 172}) ;$$

$\tau_{v,n-h}$: Taux de transmission lumineuse normal-hémisphérique du polycarbonate à incidence normale, déterminés à partir du projet de norme NF EN 16153.

Dans le cas d'un panneau en polycarbonate sans profilé apparent, le facteur de transmission lumineuse déterminé au centre du panneau est supposé s'appliquer sur tout le panneau. Si les panneaux sont joints par des profilés apparents (même translucides), ces profilés sont supposés opaques et comptés comme un $b_{m,t}$.

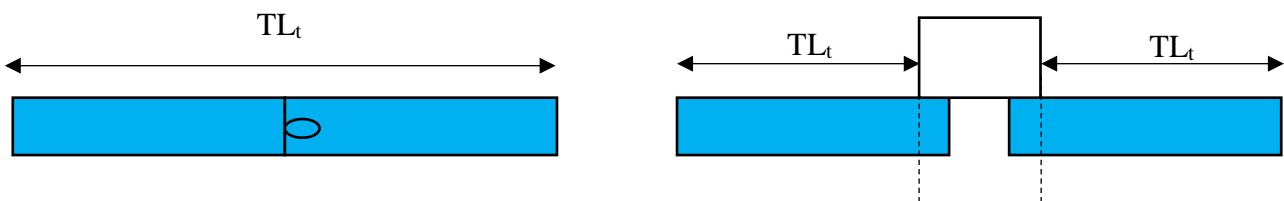


Figure 96 – Jonction de deux panneaux en polycarbonate sans et avec profilés apparents

NB : le correctif appliqué pour tenir compte de l'incidence variable sur les plaques de PCA est supposés identique pour les plaques verticales et horizontales.

3.2.16.3.2 Intégration dans l'ouvrage, prise en compte des masques

L'intégration dans l'ouvrage se fait directement dans la méthode de destination en renseignant tout masque proche, qu'il soit lié au bâtiment support de la véranda (par exemple débord de toit, mur de refend adjacent...) ou aux éléments de la véranda elle-même (par exemple de débord extérieur lié à la sablière). Toutefois, dans ce dernier cas, si le débord extérieur du masque est inférieur au dixième de la hauteur de la paroi verticale, son effet peut être négligé.

3.2.17 PRESENTATION DES RESULTATS

3.2.17.1 Règles d'arrondis des valeurs

Tableau 24 : Synthèse des règles d'arrondi

| Grandeurs | | Règle d'arrondi | Unité |
|--|---|--|--------------------------|
| Flux thermique total | Obtenu par calcul numérique | 4 chiffres après la virgule | W/K (en 2D) ou W (en 3D) |
| Résistance thermique | superficielles R_{si} , R_{se} | 2 décimales | m^2K/W |
| | matériau R_i | | |
| | lame d'air R_s | | |
| | additionnelle ΔR | | |
| Conductivité thermique λ | --- | $\lambda \leq 0,08$: arrondie à 0,001 W/(m.K) près, par excès $0,08 < \lambda \leq 0,20$: arrondie à 0,005 W/(m.K) près, par excès $0,20 < \lambda \leq 2,00$: arrondie à 0,01 W/(m.K) près, par excès $2,0 < \lambda$: arrondie à 0,1 W/(m.K) près, par excès | W/m.K |
| Coefficient linéique Ψ | --- | 2 chiffres significatifs | W/m.K |
| Coefficient de transmission surfacique | $U_w, U_d, U_{cw}, U_{CL}, U_v, U_p, U_f, U_c, \Delta U, U_{ws}, U_{jn}, U_{bb,jn}$ | 2 chiffres significatifs | W/m ² K |
| | U_g vitrage | 1 chiffre après la virgule | W/m ² K |
| | U_e, U_{p1}, U_{c1} (coffre) | 3 chiffres significatifs | W/m ² K |
| Dimension | Epaisseur de couche de matériau | 2 chiffres significatifs | m |
| | Longueur ou largeur b | 3 chiffres significatifs | |
| | Périmètre l | 4 chiffres après la virgule | |
| | critère de perméabilité P_e | 2 chiffres après la virgule | mm |
| | e_{tot} | 1 chiffre | |
| Surface A | --- | 4 chiffres après la virgule | m ² |
| Rapport p entre surface des vides et surface totale du tablier | --- | 1 chiffre | % |

3.2.17.2 Justifications

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

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

3.3 Intégration de la paroi vitrée dans l'ouvrage

3.3.1 METHODE GENERALE DE PRISE EN COMPTE DU COEFFICIENT U_w DE LA PAROI VITREE

L'intégration dans l'ouvrage des parois vitrées se caractérise par la détermination de ponts thermiques de liaisons conformément au document Méthodes - Ponts Thermiques.

Dans la méthode de calcul de certains procédés particuliers de parois vitrées, des ponts thermiques supplémentaires sont à prendre en compte (exemple : fenêtre à galandage).

3.3.2 METHODE GENERALE DE PRISE EN COMPTE DU COEFFICIENT S_w DE LA PAROI VITREE

Dans le cadre des facteurs de transmission solaire, les normes listées au §. 3.1.4 s'articulent de la manière suivante :

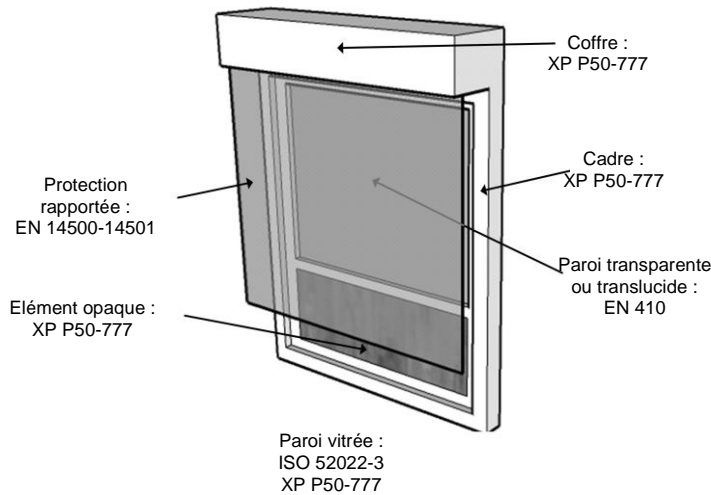


Figure 97 : Caractérisation de l'assemblage de composants de la paroi vitrée

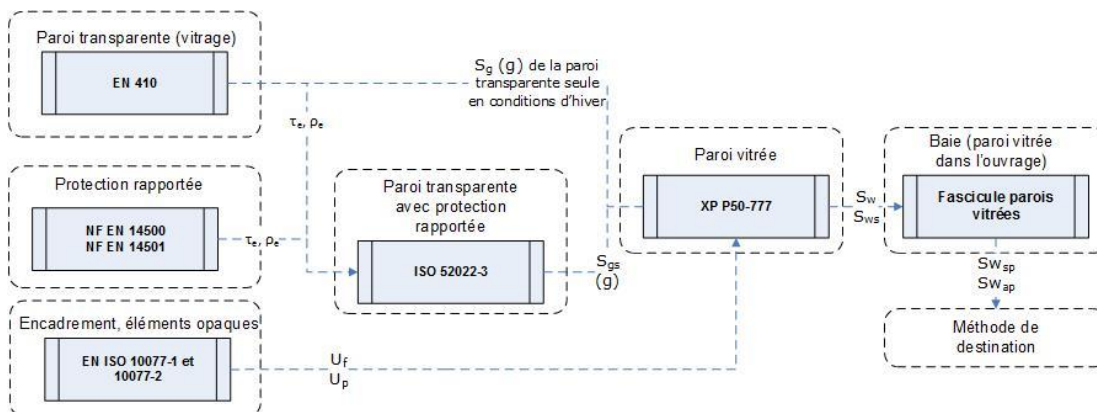


Figure 98 : Communications entre les textes normatifs pour la définition des facteurs de transmission solaires des baies

3.3.2.1 Généralités

Les corrections appliquées 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.

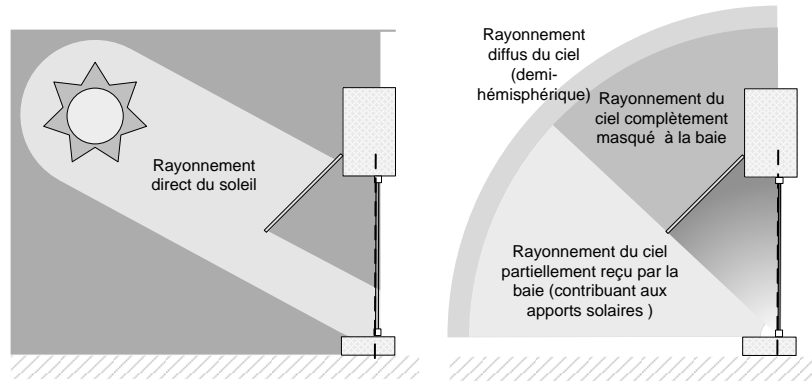


Figure 99 : Réduction d'éclairement associé à un masque proche à projection et à l'ouvrage pour les rayonnements du soleil et du ciel

- 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: $F_{\text{iv}}^{\text{fs}}$

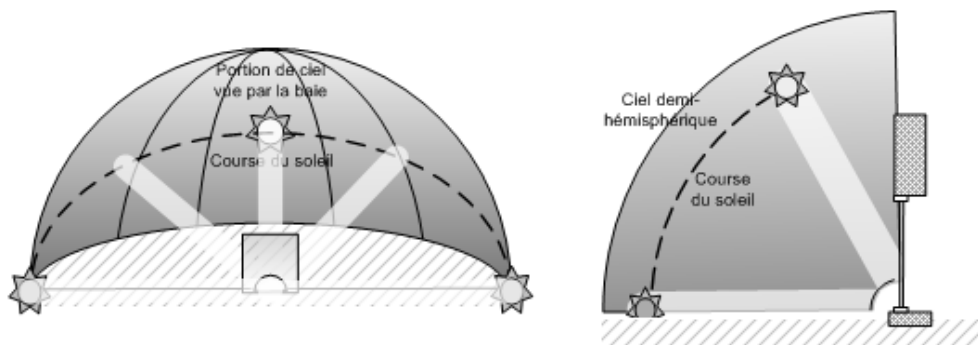


Figure 100 : Variations de l'angle d'incidence et l'angle de profil (hauteur du soleil corrigée) sur le vitrage pour une baie verticale orientée sud

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.

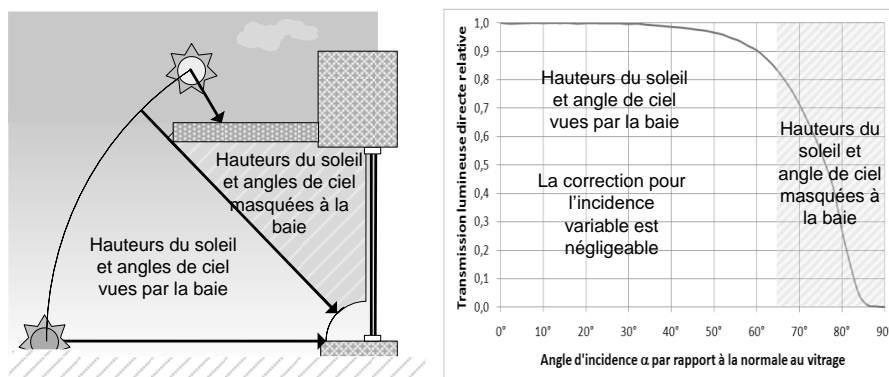


Figure 101 : Exemple d'effet sélectif pour les masques liés à l'ouvrage sur les plages de variations de l'incidence du rayonnement du soleil sur le vitrage

3.3.2.2 Formules générales

3.3.2.2.1 Paroi transparente ou translucide sans protection rapportée en place

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Tableau 25 : Sorties des facteurs de transmission solaire pour les cas courants de baies sans protection rapportée

| Incidence | Composante intérieure | Résultat de l'application de la méthode | |
|-------------------|------------------------------------|---|----------------|
| | | C | E |
| Toutes incidences | Global | $SW_{sp-c,b}$ | $SW_{sp-e,b}$ |
| | 1 : CLO | $SW1_{sp-c,b}$ | $SW1_{sp-e,b}$ |
| | 2 : GLO et convective | $SW2_{sp-c,b}$ | $SW2_{sp-e,b}$ |
| | 3 : lame d'air intérieure ventilée | $SW3_{sp-c,b}$ | $SW3_{sp-e,b}$ |

Note : dans ce cas de figure, les facteurs pour les rayonnements directs provenant du soleil, diffus et réfléchi par le sol sont égaux.

A partir des données issues des normes, les résultats sont calculés de la manière suivante :

- En conditions de calcul des consommations (C):

$$\begin{bmatrix} Sw1_{sp-c,b} \\ Sw2_{sp-c,b} \\ Sw3_{sp-c,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,C} \cdot F_{bati_dir}^{fs,C} \cdot F_{iv_dir}^{fs,C} + (1 - R_{dir}^{fs,C}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \cdot F_{iv_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{w1}^C \\ S_{w2}^C \\ S_{w3}^C \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 173) ;}$$

$$Sw_{sp-c,b} = Sw1_{sp-c,b} + Sw2_{sp-c,b} + Sw3_{sp-c,b} \quad \text{(Formule 174) ;}$$

- En conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E) :

$$\begin{bmatrix} Sw1_{sp-e,b} \\ Sw2_{sp-e,b} \\ Sw3_{sp-e,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,E} \cdot F_{bati_dir}^{fs,E} \cdot F_{iv_dir}^{fs,E} + (1 - R_{dir}^{fs,E}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \cdot F_{iv_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{w1}^E \\ S_{w2}^E \\ S_{w3}^E \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 175) ;}$$

$$Sw_{sp-e,b} = Sw1_{sp-e,b} + Sw2_{sp-e,b} + Sw3_{sp-e,b} \quad \text{(Formule 176) ;}$$

Où :

- $F_{bati_dir}^{fs,C}$, $F_{bati_dir}^{fs,E}$ et $F_{bati_dif}^{fs}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage pour les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au § 3.3.2.3.2 ;
- $F_{iv_dir}^{fs,C}$, $F_{iv_dir}^{fs,E}$ et $F_{iv_dif}^{fs}$ sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus sur les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au § 3.3.2.3.3 ;
- $R_{dir}^{fs,C}$ et $R_{dir}^{fs,E}$ sont les parts de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global sur la baie dans les conditions C et les conditions E, déterminé par interpolation entre les valeurs du Tableau 28 (§ 3.3.2.3.1).

3.3.2.2.2 Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées en place

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Tableau 26 : Sorties des facteurs de transmission solaire pour les cas courants de baies avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées

| Incidence | Composante intérieure | Résultat de l'application de la méthode | |
|-------------------|------------------------------------|---|----------------|
| | | C | E |
| Toutes incidences | Global | $SW_{ap-c,b}$ | $SW_{ap-e,b}$ |
| | 1 : CLO | $SW1_{ap-c,b}$ | $SW1_{ap-e,b}$ |
| | 2 : GLO et convective | $SW2_{ap-c,b}$ | $SW2_{ap-e,b}$ |
| | 3 : lame d'air intérieure ventilée | $SW3_{ap-c,b}$ | $SW3_{ap-e,b}$ |

Note : dans ce cas de figure également, les facteurs pour les rayonnements direct provenant du soleil, diffus et réfléchi par le sol sont égaux.

Les résultats sont calculés de la manière suivante :

- En conditions de calcul des consommations (C):

$$\begin{bmatrix} SW1_{ap-c,b} \\ SW2_{ap-c,b} \\ SW3_{ap-c,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,C} \cdot F_{bati_dir}^{fs,C} \cdot F_{iv_dir}^{fs,C} + (1 - R_{dir}^{fs,C}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \cdot F_{iv_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{ws1}^C \\ S_{ws2}^C \\ S_{ws3}^C \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 177) ;}$$

$$SW_{ap-c,b} = SW1_{ap-c,b} + SW2_{ap-c,b} + SW3_{ap-c,b} \quad \text{(Formule 178) ;}$$

- En conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E) :

$$\begin{bmatrix} SW1_{ap-e,b} \\ SW2_{ap-e,b} \\ SW3_{ap-e,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,E} \cdot F_{bati_dir}^{fs,E} \cdot F_{iv_dir}^{fs,E} + (1 - R_{dir}^{fs,E}) \cdot F_{bati_dif}^{fs} \cdot F_{iv_dif}^{fs} \right) \times \begin{bmatrix} S_{ws1}^E \\ S_{ws2}^E \\ S_{ws3}^E \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 179) ;}$$

$$SW_{ap-e,b} = SW1_{ap-e,b} + SW2_{ap-e,b} + SW3_{ap-e,b} \quad \text{(Formule 180) ;}$$

Où :

- $F_{bati_dir}^{fs,C}$, $F_{bati_dir}^{fs,E}$ et $F_{bati_dif}^{fs}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage pour les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au § 3.3.2.3.2 ;
- $F_{iv_dir}^{fs,C}$, $F_{iv_dir}^{fs,E}$ et $F_{iv_dif}^{fs}$ sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus sur les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au §3.3.2.3.3 ;

- $R_{dir}^{fs,C}$ et $R_{dir}^{fs,E}$ sont les parts de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global sur la baie dans les conditions C et les conditions E, déterminé par interpolation entre les valeurs du Tableau 28 (§3.3.2.3.1).

3.3.2.2.3 *Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée à lames inclinées en place*

Pour une protection à lames, on opère une distinction selon l'incidence du rayonnement.

Les données de sortie se résument donc au tableau ci-dessous :

Tableau 27 : Sorties des facteurs de transmission solaire pour les cas courants avec protection rapportée à lames inclinées en place

| Incidence | Composante intérieure | Résultat de l'application de la méthode | |
|-----------------------|-------------------------|---|---------------------------------|
| | | C | E |
| Directe quelconque | Global | $SW_{ap,dir-c,b}(\eta,\alpha)$ | $SW_{ap,dir-e,b}(\eta,\alpha)$ |
| | 1 : CLO | $SW_{1ap,dir-c,b}(\eta,\alpha)$ | $SW_{1ap,dir-e,b}(\eta,\alpha)$ |
| | 2 : GLO et convective | $SW_{2ap,dir-c,b}(\eta,\alpha)$ | $SW_{2ap,dir-e,b}(\eta,\alpha)$ |
| | 3 : lame d'air ventilée | $SW_{3ap,dir-c,b}(\eta,\alpha)$ | $SW_{3ap,dir-e,b}(\eta,\alpha)$ |
| Diffuse | Global | $SW_{ap,dif-c,b}(\alpha)$ | $SW_{ap,dif-e,b}(\alpha)$ |
| | 1 : CLO | $SW_{1ap,dif-c,b}(\alpha)$ | $SW_{1ap,dif-e,b}(\alpha)$ |
| | 2 : GLO et convective | $SW_{2ap,dif-c,b}(\alpha)$ | $SW_{2ap,dif-e,b}(\alpha)$ |
| | 3 : lame d'air ventilée | $SW_{3ap,dif-c,b}(\alpha)$ | $SW_{3ap,dif-e,b}(\alpha)$ |
| Réfléchie | Global | $SW_{ap,ref-c,b}(\alpha)$ | $SW_{ap,ref-e,b}(\alpha)$ |
| | 1 : CLO | $SW_{1ap,ref-c,b}(\alpha)$ | $SW_{1ap,ref-e,b}(\alpha)$ |
| | 2 : GLO et convective | $SW_{2ap,ref-c,b}(\alpha)$ | $SW_{2ap,ref-e,b}(\alpha)$ |
| | 3 : lame d'air ventilée | $SW_{3ap,ref-c,b}(\alpha)$ | $SW_{3ap,ref-e,b}(\alpha)$ |

Note : les valeurs sont déterminées pour η variant de 0° à 75° par pas de 15° (soit 6 valeurs), et α variant de 0° à 90° par pas de 15° (soit 7 valeurs).

Pour la baie avec protection rapportée en place, les résultats sont calculés de la manière suivante à partir des données issues des normes :

- En conditions de calcul des consommations (C):

$$SW_{1ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws1,dir}^C(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 181) ;}$$

$$SW_{1ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws1,dif}^C(\alpha) \quad \text{(Formule 182) ;}$$

$$SW_{1ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws1,ref}^C(\alpha) \quad \text{(Formule 183) ;}$$

$$Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws2}^C(\eta, \alpha)$$

$$Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws3}^C(\eta, \alpha)$$

(Formule 184) ;

$$Sw2_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws2}^C(\eta, \alpha)$$

$$Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws3}^C(\eta, \alpha)$$

(Formule 185) ;

$$Sw2_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws2}^C(\eta, \alpha)$$

$$Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws3}^C(\eta, \alpha)$$

(Formule 186) ;

$$Sw_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = Sw1_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) + Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) + Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha)$$

$$Sw_{ap,dif-c,b}(\alpha) = Sw1_{ap,dif-c,b}(\alpha) + Sw2_{ap,dif-c,b}(\alpha) + Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha)$$

$$Sw_{ap,ref-c,b}(\alpha) = Sw1_{ap,ref-c,b}(\alpha) + Sw2_{ap,ref-c,b}(\alpha) + Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha)$$

(Formule 187) ;

- En conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E) :

$$Sw1_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws1,dir}^E(\eta, \alpha)$$

(Formule 188) ;

$$Sw1_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws1,dif}^E(\alpha)$$

(Formule 189) ;

$$Sw1_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws1,ref}^E(\alpha)$$

(Formule 190) ;

$$Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws2}^E(\eta, \alpha)$$

$$Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws3}^E(\eta, \alpha)$$

(Formule 191) ;

$$Sw2_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws2}^E(\eta, \alpha)$$

$$Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws3}^E(\eta, \alpha)$$

(Formule 192) ;

$$Sw2_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws2}^E(\eta, \alpha)$$

$$Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;...;75^\circ]}^6 S_{ws3}^E(\eta, \alpha)$$

(Formule 193) ;

$$Sw_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = Sw1_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) + Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) + Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha)$$

$$Sw_{ap,dif-e,b}(\alpha) = Sw1_{ap,dif-e,b}(\alpha) + Sw2_{ap,dif-e,b}(\alpha) + Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha)$$

$$Sw_{ap,ref-e,b}(\alpha) = Sw1_{ap,ref-e,b}(\alpha) + Sw2_{ap,ref-e,b}(\alpha) + Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha)$$

(Formule 194) ;

Où :

- $F_{bati_dir}^{fs,C}$, $F_{bati_dir}^{fs,E}$, et $F_{bati_dif}^{fs}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage pour les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au §3.3.2.3.2 ;
- $F_{iv_dir}^{fs,C}$, $F_{iv_dir}^{fs,E}$ et $F_{iv_dif}^{fs}$ sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus sur les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au §3.3.2.3.3.

Note : pour le cas particulier de protections mobiles rapportées à lames inclinées gérées en fonction « suivi solaire » (ou suntracking), les facteurs de transmission solaire $S_{ws2}^C(\eta, \alpha)$, $S_{ws2}^E(\eta, \alpha)$, $S_{ws3}^C(\eta, \alpha)$ et $S_{ws3}^E(\eta, \alpha)$ ne sont plus déterminés qu'une fois pour chaque valeur d'inclinaison des lames α (soit 6 valeurs). En effet, chaque inclinaison des lames correspond alors à un unique angle de profil donné η_α .

En conditions C, pour une gestion en suivi solaire (suntracking) :

$$Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws2}^C(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 195) ;}$$

$$Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,C} \times F_{iv_dir}^{fs,C} \times S_{ws3}^C(\eta, \alpha)$$

$$Sw2_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws2}^C(\eta_\alpha, \alpha) \quad \text{(Formule 196) ;}$$

$$Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws3}^C(\eta_\alpha, \alpha)$$

$$Sw2_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws2}^C(\eta_\alpha, \alpha) \quad \text{(Formule 197) ;}$$

$$Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws3}^C(\eta_\alpha, \alpha)$$

En conditions E, pour une gestion en suivi solaire (suntracking) :

$$Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws2}^E(\eta, \alpha) \quad \text{(Formule 198) ;}$$

$$Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma', \alpha) = F_{bati_dir}^{fs,E} \times F_{iv_dir}^{fs,E} \times S_{ws3}^E(\eta, \alpha)$$

$$Sw2_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws2}^E(\eta_\alpha, \alpha) \quad \text{(Formule 199) ;}$$

$$Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws3}^E(\eta_\alpha, \alpha)$$

$$Sw2_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws2}^E(\eta_\alpha, \alpha) \quad \text{(Formule 200) ;}$$

$$Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati_dif}^{fs} \times F_{iv_dif}^{fs} \times S_{ws3}^E(\eta_\alpha, \alpha)$$

3.3.2.3 Coefficients de correction

Le présent chapitre décrit les méthodes de calcul des coefficients de correction des facteurs de transmission solaire pour l'intégration à l'ouvrage et pour la variation de l'angle d'incidence du rayonnement.

La méthode distingue les coefficients pour le rayonnement direct provenant du soleil et diffus provenant du ciel et réfléchi par le sol. Ainsi, la première partie du chapitre est consacrée aux poids des rayonnements directs du soleil et diffus du ciel sur une année et une période d'été, permettant d'appliquer ces deux coefficients dans les formules générales.

Dans l'ensemble des tableaux du présent sous-chapitre, les interpolations linéaires entre plusieurs valeurs sont possibles, lorsque les entrées des tableaux sont des valeurs numériques (y compris pour les orientations et inclinaisons). Les extrapolations au-delà des bornes des entrées des tableaux ne sont pas permises : on retient alors la valeur du tableau correspondant à la borne considérée.

Les tableaux présentent les coefficients en distinguant les conditions de calcul associées : calcul de consommation « C », éventuellement propre à des locaux non climatisés « C ch » ou climatisés « C clim », et calcul de confort d'été et de dimensionnement des systèmes de refroidissement « E ».

Note : par souci de simplification, les coefficients de correction pour les rayonnements diffus en provenance du ciel et réfléchi par le sol ne seront pas distingués et seront regroupés dans un coefficient diffus moyen.

3.3.2.3.1 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.

Tableau 28 : Part du rayonnement direct du soleil dans le rayonnement total atteignant une surface selon son inclinaison et son orientation

| Inclinaison de la paroi | Orientation de la paroi | $R_{dir}^{fs,C}$ | $R_{dir}^{fs,E}$ |
|----------------------------------|--|------------------|------------------|
| 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 |

3.3.2.3.2 *Prise en compte de l'intégration à l'ouvrage*

L'intégration à l'ouvrage impacte sur le facteur solaire par la création de masques proches de conception (débords horizontaux et verticaux, protections fixes, brise-soleils) ou intrinsèques (contour de la baie).

Afin de caractériser les dimensions de la baie, on introduit un coefficient de forme K_s , défini de la manière suivante :

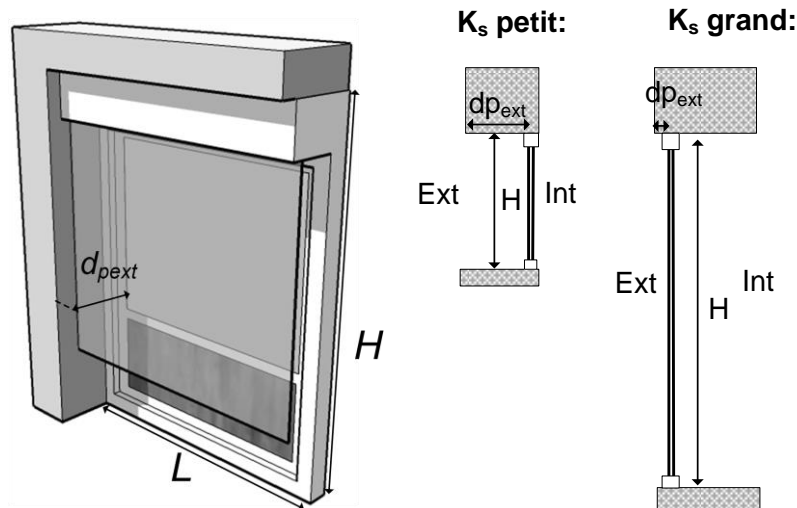


Figure 102 : Coefficient caractéristique de la baie K_s

$$K_s = \frac{L.H}{d_{pext} \cdot (L + H)} \quad (\text{Formule 201}) ;$$

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.

$$F_{bati_dir}^{fs,C} = F_{bati_dir}^{fs,E} = F_{bati_dir}^{fs} = 1$$

Baies d'inclinaison supérieure ou égale à 60° avec débords latéraux et/ou surplombs (hors tableau de la baie)

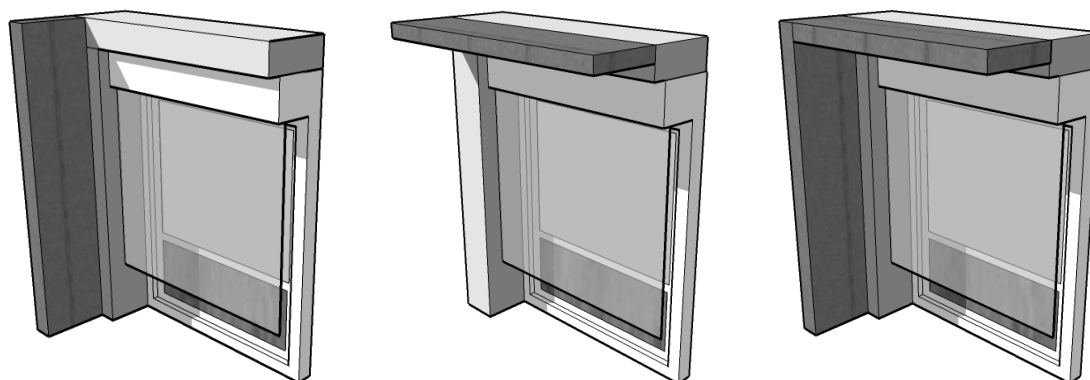


Figure 103: masques proches de type débords latéraux et surplombs

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 tableau des baies.

Dans le cadre du facteur de transmission solaire, ce cas de figure se traduit par :

$$F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,C}} = F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,E}} = F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs}} = 1$$

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 :

$$F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,C}} = F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,E}} = F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs}} = 1$$

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 ($F_{\text{bati_dir}}^{\text{fs,E}}$).

Tableau 29 : 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

| Orientation la baie | Conditions | K_s | | | | |
|--|---------------|--------------|------|------|------|------------|
| | | 1,5 ou moins | 4 | 7 | 10 | 25 ou plus |
| Sud ($\theta = 0^\circ$) | C clim | 0,50 | 0,80 | 0,90 | 0,95 | 1,0 |
| | C ch | 0,65 | 0,90 | 0,95 | 0,95 | 1,0 |
| | E | 0,25 | 0,70 | 0,85 | 0,90 | 1,0 |
| Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | C et E | 0,50 | 0,75 | 0,90 | 0,90 | 1,0 |
| Nord ($\theta = 180^\circ$) | C et E | 0,05 | 0,20 | 0,35 | 0,45 | 1,0 |

Le coefficient de correction pour le rayonnement diffus $F_{bati_dif}^{fs}$ ne dépend pas de l'orientation de la paroi :

Tableau 30 : Valeurs du coefficient de prise en compte de l'intégration à l'ouvrage de la paroi vitrée pour le rayonnement diffus $F_{bati_dif}^{fs}$ selon la valeur de K_s

| Orientation la baie | Valeur de K_s | | | | |
|---------------------|-----------------|------|------|------|------------|
| | 1,5 ou moins | 4 | 7 | 10 | 25 ou plus |
| Toutes | 0,55 | 0,80 | 0,90 | 0,90 | 1,0 |

Pour des valeurs de K_s intermédiaires, une interpolation linéaire entre les deux valeurs l'encadrant sera réalisée.

Baies d'inclinaison supérieure ou égale à 60° avec masque à projection

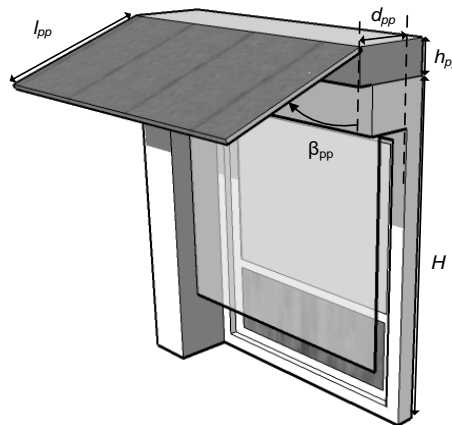


Figure 104 : Illustration: masque à projection inclinée

Pour le rayonnement solaire direct, on introduit un coefficient caractéristique des dimensions du masque à projection:

$$r_{pp} = \frac{l_{pp}}{H} \quad \text{(Formule 202) ;}$$

Où :

- l_{pp} est la longueur du masque à projection,
- H est la hauteur de la baie, telle que définie en Figure 104.

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 :

Tableau 31 : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement direct (soleil) $F_{bati_dir}^{fs}$

| 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 | |

Tableau 32 (suite) : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement direct (soleil) $F_{bati_dir}^{fs}$

| r_{pp} | K_s | Orientation de la baie | Cond | $\beta_{pp} = 45^\circ$ | | | $\beta_{pp} = 90^\circ$ | | |
|----------|---|---|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | | | | $\tau=0$ | $\tau=0,2$ $C_o=0$ | $\tau=0,2$ $C_o=0,2$ | $\tau=0$ | $\tau=0,2$ $C_o=0$ | $\tau=0,2$ $C_o=0,2$ |
| 1 | 1,5 ou moins | Sud ($\theta=0^\circ$) | C clim | 0 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,25 |
| | | | C ch | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,35 | 0,35 | 0,40 |
| | | | E | 0 | 0,05 | 0,05 | 0 | 0 | 0,05 |
| | | Est/ouest ($\theta=270^\circ/90^\circ$) | C et E | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,30 | 0,35 | 0,35 |
| | | Nord ($\theta=180^\circ$) | C et E | 0 | 0 | 0 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| | | 7 | Sud ($\theta=0^\circ$) | C clim | 0,05 | 0,15 | 0,20 | 0,35 | 0,35 |
| | 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 |
| | | C ch | | 0,20 | 0,30 | 0,35 | 0,70 | 0,70 | 0,75 |
| | | E | | 0 | 0,15 | 0,20 | 0,10 | 0,15 | 0,30 |
| | | Est/ouest ($\theta=270^\circ/90^\circ$) | C et E | 0,15 | 0,30 | 0,35 | 0,60 | 0,60 | 0,70 |
| | | Nord ($\theta=180^\circ$) | C et E | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |

Pour l'éclairage diffus du ciel et réfléchi par le sol :

Tableau 33 : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement diffus (ciel et sol) $F_{bati_dif}^{fs}$

| K_s | $\beta_{pp} = 45^\circ$ | $\beta_{pp} = 90^\circ$ |
|--------------|-------------------------|-------------------------|
| 1,5 ou moins | 0,30 | 0,55 |
| 7 | 0,45 | 0,90 |
| 25 ou plus | 0,50 | 0,95 |

Baie verticale avec brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées

A défaut de prise en compte dans la méthode de calcul de destination, le cas de figure des baies avec brise-soleil à lames fixes inclinées est pris en compte au travers d'une méthode simplifiée. Le coefficient intègre également la correction associée à l'épaisseur de la paroi opaque.

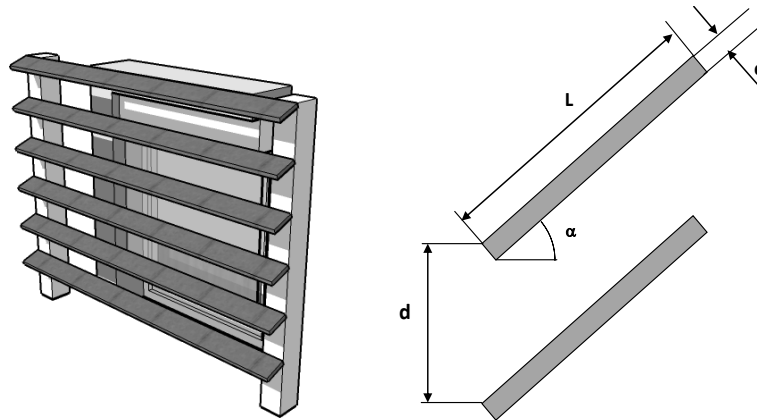


Figure 105 : Brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées

La méthode simplifiée consiste à assimiler le brise-soleil à une protection rapportée à lames minces équivalente. Cette méthode n'est applicable que pour des parois verticales et pour des produits dont les lames sont assimilables à des parallélépipèdes, dont l'épaisseur e est inférieure à 10% de la largeur L (soit $e < 0,1 \times L$). Les coefficients de correction calculés selon cette méthode doivent être arrondis à 0.05 près (exemple $0.21=0.20$ et $0.23 = 0.27 = 0.25$).

Les étapes sont les suivantes :

- **Détermination des caractéristiques de transmission équivalentes du brise-soleil à lames inclinées**

Les caractéristiques de transmission équivalente pour les rayonnements directs, diffus du ciel et réfléchi par le sol se calculent selon l'Annexe A de la norme XP P50-777, pour l'angle d'inclinaison α propre au brise-soleil étudié et pour 7 angles de profils η (de 0° à 90°) du rayonnement direct.

Tableau 34 : Récapitulatif des caractéristiques de transmission énergétique du brise-soleil à lames fixes inclinées calculées selon l'annexe A de la norme XP P-50-777

| η | $T_{e,dir-h}(\eta)$ | | | | | | | $T_{e,dif-ciel-h}$ | $T_{e,ref-sol-h}$ |
|--------|---------------------|----|----|----|----|----|----|--------------------|-------------------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | | |
| η | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | - | - |

Le calcul est mené pour les caractéristiques de réflexion énergétique des éléments du brise-soleil, et pour le ratio géométrique $r = d/L$ propre au brise-soleil étudié. La transmission équivalente est conventionnellement nulle pour un angle de profil de 90° . Pour des angles de profils compris entre les valeurs de η du Tableau 34, le $T_{dir-h}(\eta)$ se détermine par interpolation linéaire.

- **Calcul du coefficient de correction du brise-soleil seul pour le rayonnement direct du soleil :**

Le calcul d'un coefficient de correction applicable au facteur de transmission solaire de la baie implique de réaliser un calcul du rayonnement global transmis au travers des lames du brise-soleil au pas de temps horaire t , et d'intégrer ensuite ces résultats sur l'ensemble de la période considérée $[t1 ; t2]$ (variable selon les conditions Cch, Cclim ou E). Le calcul est mené à partir des données météorologique de la zone climatique H2b (Tours) au sens du chapitre IV de l'annexe à l'article R. 172- du code de la construction et de l'habitation.

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 §3.1.5.1.

On réalise alors pour chacune de ces heures les calculs des grandeurs suivantes :

- $\omega(t)$, angle entre le rayon incident et la normale à la paroi verticale considérée (en degrés),

$$\omega(t) = \text{Min}[90; \text{acos}(\cos(\gamma(t)) \cdot \cos(\Psi(t) - \theta))] \quad (\text{Formule 203}) ;$$

- $Drp(t)$, flux solaire direct incident sur le plan extérieur du brise-soleil (en W/m^2) :

$$Drp(t) = I_{Dn}(t) \cdot \cos(\omega(t)) \quad (\text{Formule 204}) ;$$

- $\eta(t)$, angle entre la projection du rayon incident sur le plan vertical perpendiculaire à la paroi et la normale à la paroi considérée (angle de profil, en degrés) :

$$\eta(t) = \arctan\left(\frac{\tan(\gamma(t))}{\cos(\Psi(t) - \theta)}\right) \quad (\text{Formule 205}) ;$$

- $Drp^*(t)$ le flux solaire direct transmis par le brise-soleil sur la paroi considérée à une heure donnée t (en W/m^2) :

$$Drp^*(t) = \tau_{e,dir-h}(\eta(t)) \cdot Drp(t) \quad (\text{Formule 206}) ;$$

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 34.

Au final, le coefficient de correction du brise-soleil seul pour le rayonnement direct du soleil est le suivant :

$$F_{bati_dir_BS}^{fs} = \frac{\sum_{t=t1}^{t2} Drp^*(t)}{\sum_{t=t1}^{t2} Drp(t)} \quad (\text{Formule 207}) ;$$

Les bornes t1 et t2 sont à adapter en fonction des conditions de calcul considérées à partir du tableau suivant (exprimés en heures annuelles, de 0 à 8 760 h) :

Tableau 35 : Bornes d'intégration pour le calcul du coefficient de correction lié au brise-soleil à lames fixes inclinées, dans le cas du rayonnement direct du soleil

| Conditions | t1 [h] | t2 [h] |
|--------------|--------|--------|
| <i>Cch</i> | 7 297 | 2 880 |
| <i>Cclim</i> | 1 | 8 760 |
| <i>E</i> | 3 625 | 5 832 |

Note : pour les conditions *Cch*, l'intégration en période de chauffage seule se fait sur l'union de deux intervalles : de janvier à fin avril d'une part ($t1 = 1$, $t2 = 2 880$) et de novembre à fin décembre d'autre part ($t1 = 7 297$, $t2 = 8 760$)

- **Calcul du coefficient de correction du brise-soleil seul pour le rayonnement diffus du ciel et du sol :**

Le facteur de réduction du rayonnement diffus hémisphérique du brise-soleil seul se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$F_{bati_dif_BS}^{fs} = \frac{R_{dif}^{fs} \cdot \tau_{e,dif-ciel-h} + R_{ref}^{fs} \cdot \tau_{e,ref-sol-h}}{R_{dif}^{fs} + R_{ref}^{fs}} \quad (\text{Formule 208}) ;$$

Les ratios d'énergie correspondant aux deux types de rayonnement diffus sont déterminés en fonction de l'orientation de la paroi et des conditions de calcul à l'aide du tableau suivant :

Tableau 36 : Part des rayonnements diffus du ciel R_{dif}^{fs} et réfléchi par le sol R_{ref}^{fs} atteignant une surface selon son inclinaison et son orientation

| Orientation | Condition <i>Cclim</i> / <i>Cch</i> | | Condition <i>E</i> | |
|-------------------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | $R_{dif}^{fs,C}$ | $R_{ref}^{fs,C}$ | $R_{dif}^{fs,E}$ | $R_{ref}^{fs,E}$ |
| Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,30 | 0,15 | 0,40 | 0,20 |
| Ouest ($\theta = 90^\circ$) | 0,40 | 0,15 | 0,35 | 0,20 |
| Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,65 | 0,30 | 0,60 | 0,30 |
| Est ($\theta = 270^\circ$) | 0,40 | 0,20 | 0,40 | 0,20 |

- **Coefficient de correction de la baie avec brise-soleil pour le rayonnement diffus du ciel et du sol :**

Le coefficient de correction de la baie avec brise-soleil doit également prendre en compte l'impact éventuel de l'encadrement. Par hypothèse simplificatrice, on considère que ces deux impacts se cumulent :

$$\begin{aligned} F_{bati_dir}^{fs,Cclim} &= F_{bati_dir(encadrement)}^{fs,Cclim} \times F_{bati_dir_BS}^{fs,Cclim} \\ F_{bati_dir}^{fs,Cch} &= F_{bati_dir(encadrement)}^{fs,Cch} \times F_{bati_dir_BS}^{fs,Cch} \\ F_{bati_dir}^{fs,E} &= F_{bati_dir(encadrement)}^{fs,E} \times F_{bati_dir_BS}^{fs,E} \\ F_{bati_dif}^{fs} &= F_{bati_dif(encadrement)}^{fs} \times F_{bati_dif_BS}^{fs} \end{aligned} \quad (\text{Formule 209}) ;$$

Où les coefficients dus à l'encadrement de la paroi vitrée $F_{bati_dir(encadrement)}^{fs,Cclim}$, $F_{bati_dir(encadrement)}^{fs,Cch}$, $F_{bati_dir(encadrement)}^{fs,E}$ et $F_{bati_dif(encadrement)}^{fs}$ sont déterminés pour la baie sans brise-soleil, à partir du Tableau 44 et du Tableau 45.

- **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.

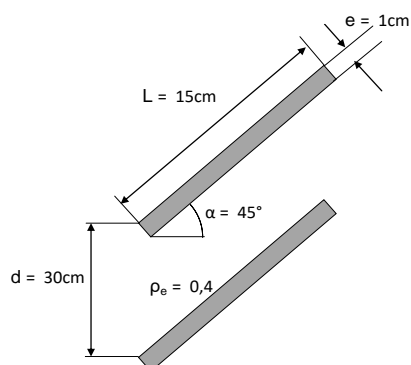


Figure 106 : Caractéristiques types de brise-soleil à lames fixes inclinées

L'application de la méthode de la norme XP P50-777 fournit les caractéristiques énergétiques suivantes :

Tableau 37 : Résultats d'application de la méthode de la norme XP P50-777 pour un brise-soleil avec les caractéristiques types décrites ci-dessus

| η | $T_{e,dir-h} (\eta)$ | | | | | | | $T_{e,dif-ciel-h}$ | $T_{e,ref-sol-h}$ |
|---------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|--------------------|-------------------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | | |
| Valeur | 0,67 | 0,58 | 0,47 | 0,33 | 0,09 | 0,05 | 0,00 | 0,42 | 0,79 |

Sur cette base, le calcul des coefficients de correction aboutit aux résultats suivants :

Tableau 38 : Valeurs des coefficients de correction d'un brise-soleil à lames fixes inclinées pour un rayonnement direct (soleil) $F_{bati_dir}^{fs}$ et diffus (ciel et sol) $F_{bati_dif}^{fs}$

| $F_{bati_dir}^{fs}$ | | | | |
|---|------------|--------------|------|------------|
| Orientation de la baie | Conditions | K_s | | |
| | | 1,5 ou moins | 7 | 25 ou plus |
| Sud ($\theta=0^\circ$) | C clim | 0,15 | 0,25 | 0,25 |
| | C ch | 0,20 | 0,35 | 0,35 |
| | E | 0,05 | 0,05 | 0,10 |
| Est/ouest ($\theta=270^\circ/90^\circ$) | C et E | 0,20 | 0,30 | 0,35 |
| Nord ($\theta=180^\circ$) | C et E | 0,05 | 0,15 | 0,20 |
| $F_{bati_dif}^{fs}$ | | | | |
| Toutes | C et E | 0,30 | 0,45 | 0,50 |

3.3.2.3.3 Impact de l'angle d'incidence variable sur le vitrage

Les valeurs des coefficients de prise en compte de l'impact de l'incidence variable pour le rayonnement direct du soleil ($F_{riv_dir}^{fs,C}$ et $F_{riv_dir}^{fs,E}$) et diffus du ciel et du sol ($F_{riv_dif}^{fs}$) sur le vitrage sont données dans le tableau suivant :

Tableau 39 : Valeurs du coefficient de correction lié à l'incidence variable $F_{riv_dir}^{fs,C}$, $F_{riv_dir}^{fs,E}$ et $F_{riv_dif}^{fs}$

| | | $F_{riv_dir}^{fs,C}$ | | $F_{riv_dir}^{fs,E}$ | $F_{riv_dif}^{fs}$ |
|--|--|-----------------------|--------------|-----------------------|---------------------|
| | | <i>Cch</i> | <i>Cclim</i> | | |
| Paroi vitrée proche du nu intérieur ($K_s < 1,7$) et/ou avec protection mobile extérieure en place et/ou avec surplombs, masque à projection ou brise-soleil à lames inclinées fixes | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Autres cas | Inclinaison proche de la verticale ($60^\circ < \beta \leq 90^\circ$) Orientation proche du sud ($\theta < 30^\circ$ ou $\theta > 330^\circ$) | 1 | 0,95 | 0,9 | 0,95 |
| | Autres inclinaisons et/ou orientations | 0,95 | | 0,95 | |

3.3.3 METHODE GENERALE DE PRISE EN COMPTE DU FACTEUR DE TRANSMISSION LUMINEUSE TL_W DE LA PAROI VITREE

Dans le cadre des facteurs de transmission lumineuse, les normes listées au §. 3.1.4 s'articulent de la manière suivante :

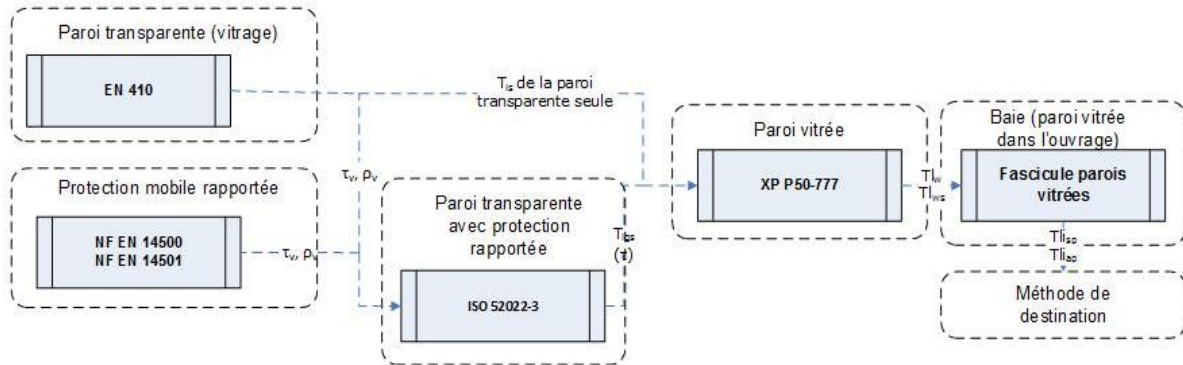


Figure 107 : Communications entre les textes normatifs dans le cadre des propriétés lumineuses

Les corrections appliquées sont les suivantes :

- Correctif pour l'impact de l'intégration à l'ouvrage $F^{l}_{b\grave{a}ti}$: 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.

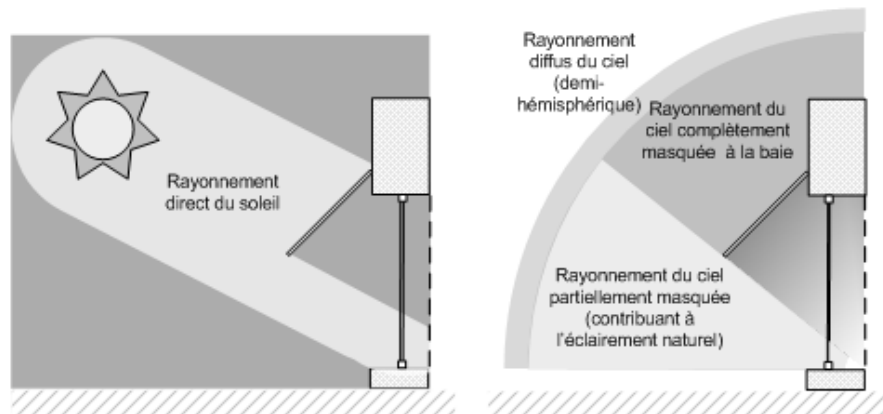


Figure 108 : Réduction d'éclairement liée à un masque à projection et à l'ouvrage pour les rayonnements du soleil et du ciel

- Correctif pour l'impact de l'incidence variable de l'éclairement provenant du soleil, du ciel et du sol sur le vitrage: F_{riv}^{fl}

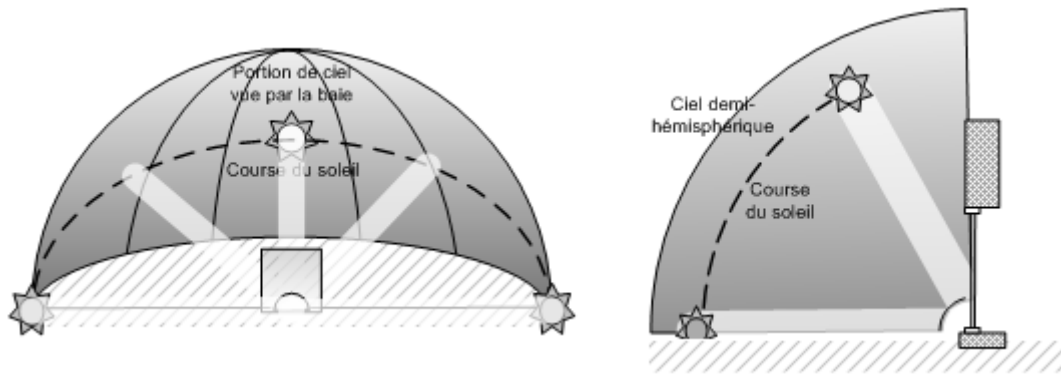


Figure 109 : Variations de l'angle d'incidence sur le vitrage pour une baie verticale orientée sud

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.

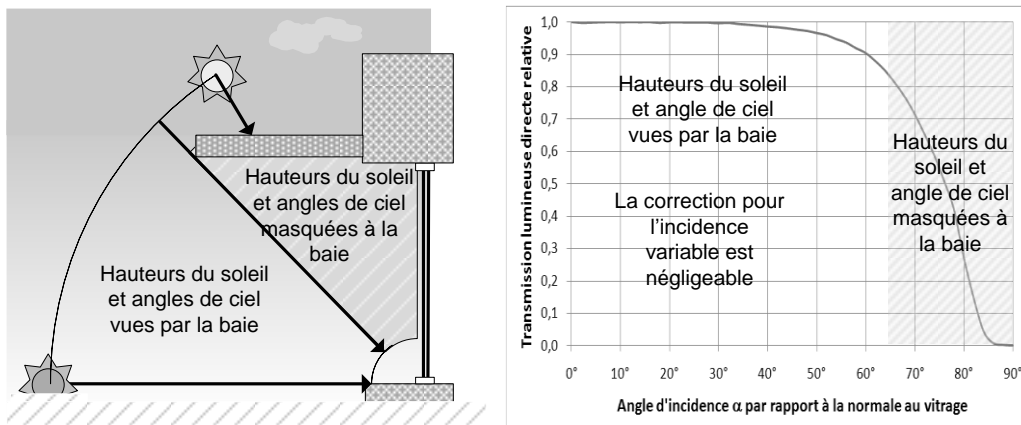


Figure110 : Exemple d'effet sélectif pour les masques liés à l'ouvrage sur les plages de variations de l'incidence sur le vitrage (hauteur du soleil seule)

3.3.3.1 Formules générales

3.3.3.1.1 Paroi transparente ou translucide sans protection rapportée en place

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Tableau 40 : Sorties des facteurs de transmission lumineuse pour les cas courants sans protection rapportée

| Incidence | Composante (à l'intérieur) | Résultat de l'application de la méthode |
|-------------------|-----------------------------------|--|
| Toutes incidences | Global | $Tli_{sp,b}$ |
| | Diffusé | $Tlid_{sp,b}$ |

Note : dans ce cas de figure, l'hypothèse de simplification admise est que la valeur du facteur de transmission lumineuse est indépendante de la nature du rayonnement (directe, diffuse ou réfléchi par le sol) :

$$Tli_{sp,b} = Tld_{sp,b} = Tlref_{sp,b}$$

De même la part d'éclairement à incidence directe transmise sous forme diffuse est identique à la part d'éclairement réfléchi par le sol, transmise sous forme diffuse :

$$Tlid_{sp,b} = Tlref_{sp,b}$$

A partir des données issues des normes, les résultats sont calculés de la manière suivante :

$$Tli_{sp,b} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl}_{bati_dir} \cdot F^{fl}_{riv_dir} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl}_{bati_dif} \cdot F^{fl}_{riv_dif} \right) \times TL_w \quad \text{(Formule 210) ;}$$

$$Tlid_{sp,b} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl}_{bati_dir} \cdot F^{fl}_{riv_dir} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl}_{bati_dif} \cdot F^{fl}_{riv_dif} \right) \times TL_{w_dif} \quad \text{(Formule 211) ;}$$

Où :

- $F^{fl}_{bati_dir}$ et $F^{fl}_{bati_dif}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage, calculés selon la procédure décrite au §3.3.3.2.2 ;
- $F^{fl}_{riv_dir}$ et $F^{fl}_{riv_dif}$, sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus, calculés selon la procédure décrite au §3.3.3.2.3 ;
- 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 43 (§3.3.3.2.1).

3.3.3.1.2 *Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées en place*

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Tableau 41 : Sorties des facteurs de transmission lumineuse pour les cas courants avec protection rapportée autres qu'à lames inclinées en place

| Incidence | Composante (à l'intérieur) | Résultat de l'application de la méthode |
|--------------------------|-----------------------------------|--|
| <i>Toutes incidences</i> | Global | $Tli_{ap,b}$ |
| | Diffusé | $Tlid_{ap,b}$ |

Note : dans ce cas de figure, l'hypothèse de simplification admise est que la valeur du facteur de transmission lumineuse est indépendante de la nature du rayonnement (directe, diffuse ou réfléchi par le sol). De ce fait, une unique valeur est nécessaire :

$$Tli_{ap_dir,b} = Tlid_{ap_dif,b} = Tlid_{ap_ref,b} = Tli_{ap,b}$$

De même la part du rayonnement à incidence directe transmise sous forme diffuse est considérée égale à la part du rayonnement à incidence réfléchi par le sol transmise sous forme diffuse :

$$Tlid_{ap_dir,b} = Tlid_{ap_ref,b}$$

Pour la baie avec protection rapportée en place, la formule générale d'application pour le facteur de transmission lumineuse est la suivante :

$$Tli_{ap,b} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl}_{bati_dir} \cdot F^{fl}_{riv_dir} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl}_{bati_dif} \cdot F^{fl}_{riv_dif} \right) \times TL_{ws} \quad \text{(Formule 212) ;}$$

$$Tlid_{ap,b} = \left(R_{dir}^{fl} \cdot F^{fl}_{bati_dir} \cdot F^{fl}_{riv_dir} + (1 - R_{dir}^{fl}) \cdot F^{fl}_{bati_dif} \cdot F^{fl}_{riv_dif} \right) \times TL_{ws_dif} \quad \text{(Formule 213) ;}$$

Où :

- $F^{fl}_{bati_dir}$ et $F^{fl}_{bati_dif}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage, calculés selon la procédure décrite au §3.3.3.2.2.
- $F^{fl}_{riv_dir}$ et $F^{fl}_{riv_dif}$, sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus, calculés selon la procédure décrite au §3.3.3.2.3.
- 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 43 (§3.3.3.2.1).

3.3.3.1.3 *Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée à lames inclinées en place*

Pour une protection à lames, on opère une distinction sur l'incidence du rayonnement.

Les données de sortie se résument donc au tableau ci-dessous :

Tableau 42 : Sorties des facteurs de transmission lumineuse pour les cas courants avec protection rapportée à lames inclinées en place

| Incidence | Composante | Résultat de l'application de la méthode |
|---------------------------|-------------------|--|
| <i>Directe quelconque</i> | Global | $Tli_{ap_dir,b}(\gamma', \alpha)$ |
| | Diffusé | $Tlid_{ap_dir,b}(\gamma', \alpha)$ |
| <i>Diffuse</i> | Global | $Tld_{ap_dif,b}(\alpha)$ |
| <i>Réfléchie</i> | Global | $Tld_{ap_ref,b}(\alpha)$ |
| | Diffusé | $Tlid_{ap_ref,b}(\alpha)$ |

Note : les valeurs sont déterminées pour γ' variant de 0° à 75° par pas de 15° (soit 6 valeurs), et α variant de 0° à 90° par pas de 15° (soit 7 valeurs).

Pour la baie avec protection rapportée en place, les résultats sont calculés de la manière suivante (avec $\gamma' = \eta$) :

$$\begin{bmatrix} Tli_{ap_dir,b}(\gamma', \alpha) \\ Tlid_{ap_dir,b}(\gamma', \alpha) \end{bmatrix} = F^{fl}_{bati_dir} \times F^{fl}_{riv_dir} \times \begin{bmatrix} TL_{ws_dir}(\eta, \alpha) \\ TL_{ws_dir,dif}(\eta, \alpha) \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 214) ;}$$

$$\begin{bmatrix} Tld_{ap_dif,b}(\alpha) \\ Tld_{ap_ref,b}(\alpha) \\ Tlid_{ap_ref,b}(\alpha) \end{bmatrix} = F^{fl}_{bati_dif} \times F^{fl}_{riv_dif} \times \begin{bmatrix} TL_{ws_dif}(\alpha) \\ TL_{ws_ref}(\alpha) \\ TL_{ws_ref,dif}(\alpha) \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 215) ;}$$

Où :

- $F^{fl}_{bati_dir}$ et $F^{fl}_{bati_dif}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage, calculés selon la procédure décrite au §3.3.3.2.2 ;
- $F^{fl}_{riv_dir}$ et $F^{fl}_{riv_dif}$, sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus, calculés selon la procédure décrite au §3.3.3.2.3.

3.3.3.2 Coefficients de correction

Le présent chapitre décrit les méthodes de détermination des coefficients de correction des facteurs de transmission lumineuse pour l'intégration à l'ouvrage et pour la variation de l'angle d'incidence du rayonnement.

La méthode distingue les coefficients pour l'éclairement direct provenant du soleil et diffus provenant du ciel et du sol. Ainsi, la première partie du chapitre est consacrée aux poids des éclairagements directs du soleil et diffus sur une année, permettant d'appliquer ces deux coefficients dans les formules générales.

Par souci de simplification, il n'est pas estimé de coefficient de correction pour l'éclairement réfléchi par le sol, étant donné la faible contribution de ce dernier à l'éclairement global.

Dans l'ensemble des tableaux du présent sous-chapitre, les interpolations linéaires entre plusieurs valeurs sont possibles, lorsque les entrées des tableaux sont des valeurs numériques (y compris pour les orientations et inclinaisons). Les extrapolations au-delà des bornes des entrées des tableaux ne sont pas permises : on retient alors la valeur du tableau correspondant à la borne considérée.

3.3.3.2.1 Distinction entre éclairagements direct du soleil et diffus du ciel et du sol

Soient les pourcentages d'éclairement direct du soleil R_{dir}^{fl} pour les couples d'inclinaisons/orientations ci-dessous :

Tableau 43 : Part du rayonnement total sur la baie en incidence directe, noté R_{dir}^{fl}

| Inclinaison de la paroi | Orientations de la paroi | R_{dir}^{fl} |
|----------------------------------|---|----------------|
| Vertical ($\beta = 90^\circ$) | Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,50 |
| | Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | 0,40 |
| | Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,05 |
| Inclinée ($\beta = 45^\circ$) | Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,60 |
| | Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | 0,50 |
| | Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,25 |
| Horizontal ($\beta = 0^\circ$) | | 0,50 |

3.3.3.2.2 Prise en compte de l'intégration à l'ouvrage

La prise en compte de l'intégration à l'ouvrage intervient dans la méthode de calcul de destination, au travers d'une description de masques proches. Certains cas de figure peuvent être exclus de cette description telles les protections à projection et les brise-soleil fixes.

On introduit un coefficient de forme K caractérisant la baie¹¹ :

$$K = \frac{L.H}{e.(L + H)} \quad \text{(Formule 216) ;}$$

Où :

¹¹ Note : le facteur K est indépendant de la position de la paroi vitrée dans la baie, au nu intérieur ou extérieur.

- 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 111.

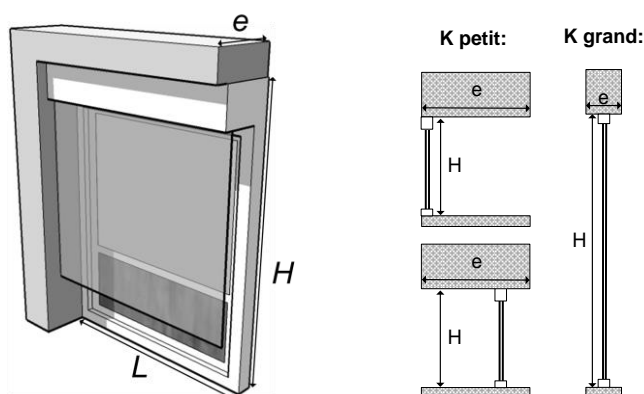


Figure 111 : Prise en compte du contour de la baie sur le facteur de transmission lumineuse

Baie d'inclinaison quelconque sans masques proches de conception (contour de la baie seulement)

Le contour de la baie a pour effet de réduire la contribution de la baie à l'éclairage naturel intérieur. L'impact est plus ou moins grand selon les dimensions de la baie et l'épaisseur de la paroi opaque

Si $e < 5$ cm, l'impact du contour est négligé : $F^{fl}_{bati_dir} = 1$ et $F^{fl}_{bati_dif} = 1$. Sinon, le coefficient de correction pour l'éclairage direct du soleil $F^{fl}_{bati_dir}$ est obtenu à partir du tableau suivant :

Tableau 44 : Valeurs du coefficient de prise en compte du tableau de la baie pour le rayonnement direct (soleil) $F^{fl}_{bati_dir}$ selon la valeur de K

| Orientation et inclinaison de la paroi vitrée | | Coefficient caractéristique K | | |
|--|---------------------------------|-------------------------------|------|-------------|
| | | 1 (ou moins) | 2 | 5 (ou plus) |
| Sud ($\theta = 0^\circ$) | Vertical ($\beta = 90^\circ$) | 0,45 | 0,70 | 0,85 |
| | Inclinée ($\beta = 45^\circ$) | 0,65 | 0,80 | 0,95 |
| Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | Vertical ($\beta = 90^\circ$) | 0,55 | 0,75 | 0,90 |
| | Inclinée ($\beta = 45^\circ$) | 0,60 | 0,75 | 0,90 |
| Nord ($\theta = 180^\circ$) | Vertical ($\beta = 90^\circ$) | 0,15 | 0,30 | 0,60 |
| | Inclinée ($\beta = 45^\circ$) | 0,15 | 0,40 | 0,70 |
| Horizontal ($\beta = 0^\circ$) | | 0,50 | 0,70 | 0,90 |

Le coefficient de correction pour l'éclairage diffus est obtenu à partir du tableau suivant :

Tableau 45 : Valeurs du coefficient de prise en compte du tableau de la baie pour le rayonnement diffus (ciel et sol) $F^{fl}_{bati_dif}$

| Inclinaison de la paroi vitrée | Coefficient caractéristique K | | |
|----------------------------------|-------------------------------|------|-------------|
| | 1 (ou moins) | 2 | 5 (ou plus) |
| Vertical ($\beta = 90^\circ$) | 0,50 | 0,70 | 0,85 |
| Inclinée ($\beta = 45^\circ$) | 0,50 | 0,75 | 0,90 |
| Horizontal ($\beta = 0^\circ$) | 0,50 | 0,70 | 0,85 |

Baie verticale avec débords latéraux et/ou surplombs

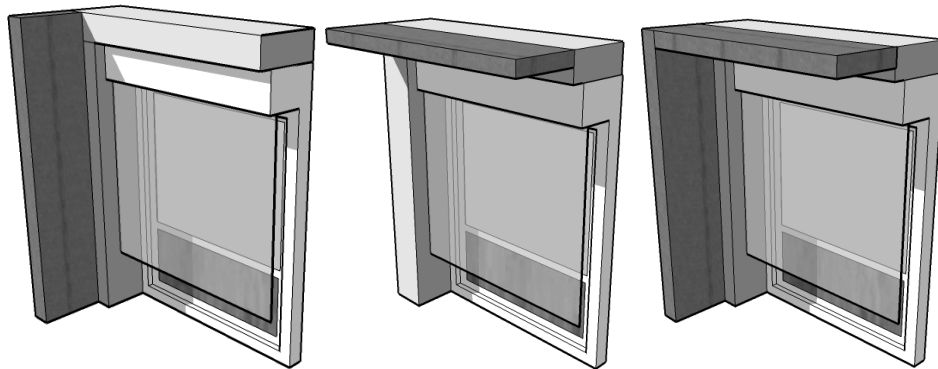


Figure 112 : Masques proches de type débords latéraux et surplombs

La prise en compte des masques proches de type débords latéraux et surplombs des baies verticales relève directement de la méthode de calcul de destination. Cette prise en compte passe par des masques proches verticaux et horizontaux équivalents, englobant l'impact du contour des baies.

Dans le cadre du facteur de transmission lumineuse, ce cas de figure se traduit par :

$$F_{\text{bati_dir}}^{\text{fl}} = F_{\text{bati_dif}}^{\text{fl}} = 1$$

Baie verticale avec masque à projection fixe inclinée

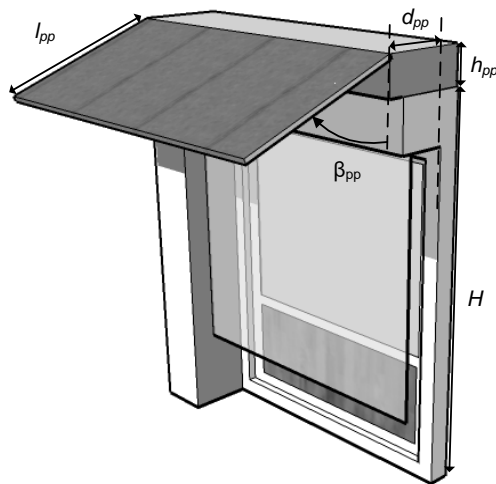


Figure 113 : Masque à projection fixe inclinée

Pour le rayonnement solaire direct, on introduit un coefficient caractéristique des dimensions du masque à projection:

$$r_{pp} = \frac{l_{pp}}{H}$$

(Formule 217) ;

Où :

- l_{pp} est la longueur du masque à projection,
- H est la hauteur de la baie, telle que définie en Figure 113.

On introduit β_{pp} l'angle entre la paroi verticale et le plan du masque à projection, τ le facteur de transmission global du matériau constituant ce dernier, et C_o le coefficient d'ouverture du masque, équivalent à celui d'un masque à projection, tel que défini dans la norme NF EN 14500. Les coefficients de correction sont définis dans les tableaux suivants.

Pour l'éclairage direct du soleil :

Tableau 46 : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement direct (soleil) $F_{bati_dir}^{fl}$

| r_{pp} | K | Orientation de la baie | $\beta_{pp} = 45^\circ$ | | | $\beta_{pp} = 90^\circ$ | | |
|----------|------------|---|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | | | $T_{pp}=0$ | $T_{pp}=0,2$ $C_{opp}=0$ | $T_{pp}=0,2$ $C_{opp}=0,2$ | $T_{pp}=0$ | $T_{pp}=0,2$ $C_{opp}=0$ | $T_{pp}=0,2$ $C_{opp}=0,2$ |
| 0 | 1 ou moins | Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,45 | | | | | |
| | | Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | 0,55 | | | | | |
| | | Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,15 | | | | | |
| | 2 | Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,70 | | | | | |
| | | Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | 0,75 | | | | | |
| | | Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,30 | | | | | |
| | 5 ou plus | Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,85 | | | | | |
| | | Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | 0,90 | | | | | |
| | | Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,60 | | | | | |
| 0,5 | 1 ou moins | Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,25 | 0,25 | 0,30 | 0,40 | 0,40 | 0,35 |
| | | Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | | Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,15 | 0,10 |
| | 2 | Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | | Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | 0,40 | 0,40 | 0,45 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| | | Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,25 |
| | 5 ou plus | Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,55 |
| | | Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | 0,45 | 0,45 | 0,50 | 0,70 | 0,70 | 0,65 |
| | | Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,55 | 0,55 | 0,45 |
| 1 | 1 ou moins | Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,35 | 0,35 | 0,25 |
| | | Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,35 |
| | | Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,05 |
| | 2 | Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,40 | 0,40 | 0,30 |
| | | Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,50 | 0,50 | 0,40 |
| | | Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,15 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| | 5 ou plus | Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,10 | 0,15 | 0,15 | 0,50 | 0,50 | 0,45 |
| | | Est/ouest ($\theta = 270^\circ/90^\circ$) | 0,15 | 0,15 | 0,20 | 0,60 | 0,60 | 0,55 |
| | | Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |

Pour l'éclairement diffus du ciel et du sol :

Tableau 47 : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement diffus (ciel et sol) $F_{\text{bati_dif}}^n$

| r_{pp} | K | $\beta = 45^\circ$ | $\beta = 90^\circ$ |
|----------|------------|--------------------|--------------------|
| 0 | 1 ou moins | 0,50 | |
| | 2 | 0,70 | |
| | 5 ou plus | 0,85 | |
| 0,5 | 1 ou moins | 0,30 | 0,45 |
| | 2 | 0,40 | 0,55 |
| | 5 ou plus | 0,50 | 0,65 |
| 1 | 1 ou moins | 0,15 | 0,35 |
| | 2 | 0,20 | 0,50 |
| | 5 ou plus | 0,30 | 0,65 |

Baie verticale avec brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées

A défaut de prise en compte dans la méthode de calcul de destination, le cas de figure des baies avec brise-soleil à lames fixes inclinées est pris en compte au travers d'une méthode simplifiée. Le coefficient intègre également la correction associée à l'épaisseur de la paroi opaque.

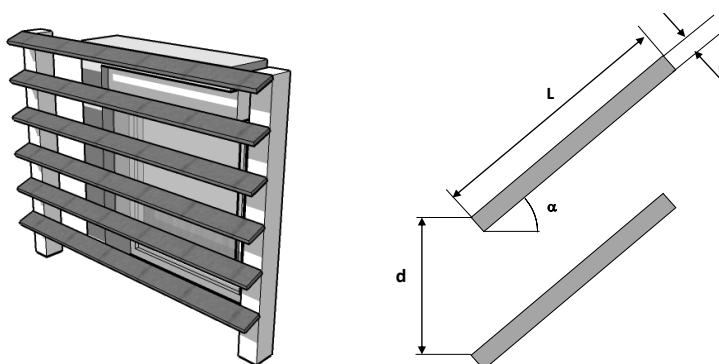


Figure 114 : Brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées en façade

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.

Tableau 48 : Récapitulatif des caractéristiques de transmission lumineuse du brise-soleil à lames fixes inclinées calculées selon l'annexe A de la norme XP P-50-777

| η | $T_{v,dir-h}(\eta)$ | | | | | | | $T_{v,dif-ciel-h}$ | $T_{v,ref-sol-h}$ |
|--------|---------------------|----|----|----|----|----|----|--------------------|-------------------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | | |
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | - | - |

Le calcul est mené pour les caractéristiques de réflexion énergétique des éléments du brise-soleil, et pour le ratio géométrique $r = d/L$ propre au brise-soleil étudié. La transmission équivalente est conventionnellement nulle pour un angle de profil de 90°. Pour des angles de profils compris entre les valeurs de η du Tableau 48, le $T_{v,dir-h}(\eta)$ 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 (Tours) au sens du chapitre IV de l'annexe à l'article R. 172- du code de la construction et de l'habitation.

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 §3.1.5.1

On réalise alors pour chacune de ces heures les calculs des grandeurs suivantes :

- $\omega(t)$, angle entre le rayon incident et la normale à la paroi verticale considérée (en degrés),

$$\omega(t) = \text{Min}[90; \text{acos}(\cos(\gamma(t)) \cdot \cos(\Psi(t) - \theta))] \quad (\text{Formule 218}) ;$$

- $Erp(t)$, flux lumineux direct incident sur le plan extérieur du brise-soleil (en Lux) :

$$Erp(t) = E_{Dn}(t) \cdot \cos(\theta(t)) \quad (\text{Formule 219}) ;$$

- $\eta(t)$, angle entre la projection du rayon incident sur le plan vertical perpendiculaire à la paroi et la normale à la paroi considérée (angle de profil, en degrés) :

$$\eta(t) = \arctan\left(\frac{\tan(\gamma(t))}{\cos(\Psi(t) - \theta)}\right) \quad (\text{Formule 220}) ;$$

- $Erp^*(t)$ le flux lumineux direct transmis par le brise-soleil sur la paroi considérée à une heure donnée t (en Lux) :

$$Erp^*(t) = \tau_{v,dir-h}(\eta(t)) \cdot Erp(t) \quad (\text{Formule 221}) ;$$

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 48.

Au final, le coefficient de correction du brise-soleil seul pour l'éclairage direct du soleil est le suivant :

$$F_{bati_dir_BS}^{fl} = \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2} Erp^*(t)}{\sum_{t=t_1}^{t_2} Erp(t)} \quad (\text{Formule 222}) ;$$

L'intégration étant réalisé sur une année entière, $t_1 = 1$ h et $t_2 = 8\ 760$ h.

- **Calcul du coefficient de correction du brise-soleil seul pour l'éclairage diffus du ciel et du sol :**

Le facteur de réduction de l'éclairage diffus hémisphérique du brise-soleil seul se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$F_{bati_dif_BS}^{fl} = \frac{R_{dif}^{fl} \cdot \tau_{v,dif-ciel-h} + R_{ref}^{fl} \cdot \tau_{v,ref-sol-h}}{R_{dif}^{fl} + R_{ref}^{fl}} \quad (\text{Formule 223}) ;$$

Les ratios d'énergie correspondant aux deux types de rayonnement diffus sont déterminés en fonction de l'orientation de la paroi et des conditions de calcul à l'aide du tableau suivant :

Tableau 49 : part des rayonnements diffus du ciel R_{dif}^{fs} et réfléchi par le sol R_{ref}^{fs} atteignant une surface selon son inclinaison et son orientation

| Orientation | R_{dif}^{fl} | R_{ref}^{fl} |
|-------------------------------|----------------|----------------|
| Sud ($\theta = 0^\circ$) | 0,30 | 0,20 |
| Ouest ($\theta = 90^\circ$) | 0,40 | 0,20 |
| Nord ($\theta = 180^\circ$) | 0,65 | 0,30 |
| Est ($\theta = 270^\circ$) | 0,40 | 0,20 |

Coefficient de correction de la baie avec brise-soleil pour le rayonnement diffus du ciel et du sol :

Le coefficient de correction de la baie avec brise-soleil doit également prendre en compte l'impact éventuel de l'encadrement. Par hypothèse simplificatrice, on considère que ces deux impacts se cumulent :

$$F_{bati_dir}^{fl} = F_{bati_dir(encadrement)}^{fl} \times F_{bati_dir_BS}^{fl} \quad (\text{Formule 224}) ;$$

$$F_{bati_dif}^{fl} = F_{bati_dif(encadrement)}^{fl} \times F_{bati_dif_BS}^{fl}$$

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 44 et du Tableau 45.

- **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.

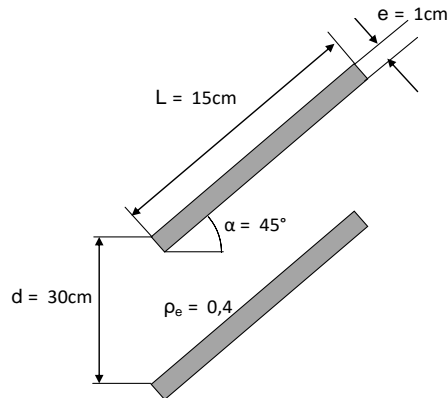


Figure 115 : Caractéristiques types de brise-soleil à lames fixes inclinées

L'application de la méthode de la norme XP P50-777 fournit les caractéristiques lumineuses du brise-soleil suivantes :

Tableau 50 : Résultats d'application en transmission lumineuse de la méthode de la norme XP P50-777 pour un brise-soleil avec les caractéristiques types décrites ci-dessus

| η | $T_{v,dir-h}(\eta)$ | | | | | | | $T_{v,dif-ciel-h}$ | $T_{v,ref-sol-h}$ |
|---------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|--------------------|-------------------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | | |
| Valeur | 0,67 | 0,58 | 0,47 | 0,33 | 0,09 | 0,05 | 0,00 | 0,42 | 0,79 |

Sur cette base, le calcul des coefficients de correction du facteur de transmission lumineuse pour l'intégration au bâti aboutit aux résultats suivants :

Tableau 51 : Valeurs des coefficients de correction d'un brise-soleil à lames fixes inclinées pour un rayonnement direct (soleil) $F_{bati_dir}^n$ et pour un rayonnement diffus (ciel et sol) $F_{bati_dif}^n$

| $F_{bati_dir}^n$ | | | |
|--|--------------|------|-------------|
| 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 |
| $F_{bati_dif}^n$ | | | |
| Toute orientation | 0,25 | 0,35 | 0,40 |

3.3.3.2.3 *Impact de l'angle d'incidence variable*

L'impact de l'incidence variable sur le vitrage est défini au travers de coefficient de correction à incidence directe du soleil ($F_{riv,dir}$), et diffuse du ciel et du sol ($F_{riv,dif}$).

Les valeurs des deux coefficients pour différentes configurations sont données ci-dessous.

Tableau 52 : Valeurs du coefficient de correction lié à l'incidence variable $F_{riv,dir}^n$ et $F_{riv,dif}^n$

| | $F_{riv,dir}^n$ | $F_{riv,dif}^n$ |
|--|-----------------|-----------------|
| 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 |

4. FASCICULE « PAROIS OPAQUES »

4.1 Introduction

Ce fascicule donne les méthodes de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois opaques et de leurs composants, et revoit vers les applications établies conformément aux dites méthodes.

4.1.1 *DOMAINE D'APPLICATION*

Les caractéristiques thermiques utiles déterminées selon ce fascicule servent au calcul de la consommation d'énergie des bâtiments dans le cadre de l'application de la réglementation thermique.

4.1.2 *REFERENCES 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.

NF 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.

4.1.3 *DEFINITIONS, SYMBOLES ET INDICES*

4.1.3.1 *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 fascicule « Généralités » des règles Th-Bat ;
- Paroi opaque isolée : paroi opaque dont le coefficient de transmission thermique U n'excède pas $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

- Paroi transparente ou translucide : paroi dont le facteur de transmission lumineuse (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 inférieure et supérieure, 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 de 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 de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système ;
- Coefficient de transmission linéique ψ , en $W/(m.K)$: flux thermique en régime stationnaire par unité de longueur, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système ;
- 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 de un kelvin entre les deux faces de ce système ;
- Résistance thermique totale R_T , en $(m^2.K)/W$: somme de la résistance thermique R d'une paroi et des résistances thermiques superficielles côtés intérieur et extérieur ;
- Résistance superficielle R_s , en $(m^2.K)/W$: inverse du flux thermique passant par mètre carré de paroi, de l'ambiance à la paroi pour une différence de température de un kelvin entre celles-ci ;
- 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 assimilées 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 mètres ;
- Epaisseur « équivalente » d'un système : épaisseur d'un matériau thermiquement homogène, ayant la même résistance thermique que ce système, en mètres ;
- Avis Technique et Document Technique d'Application : on entend par Avis Technique et Document Technique d'Application, tout avis formulé conformément à l'arrêté du 21 mars 2012 relatif à la commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application sur des procédés matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction, délivré en vue d'établir l'aptitude à l'emploi des procédés, matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.
- Valeurs tabulées : valeurs obtenues par application directe des méthodes et valables dans les plages de donnée d'entrée utilisées pour l'application des méthodes,
- Valeurs par défaut : valeurs sécuritaires à utiliser comme caractéristique thermique utile pour le bâtiment neuf en absence de valeur déclarée et sans justification particulière,
- Caractéristique thermique utile : Caractéristique thermique représentative du comportement thermique des parois, éléments ou composants, qui peut être considérée comme caractéristique de la performance de ce matériau ou de ce produit une fois incorporé dans le bâtiment et ceci durant toute la durée de vie de l'ouvrage. Par conséquent, la caractéristique thermique utile, doit être à la fois représentative de l'ensemble de la production dans l'espace et dans le temps avec la prise en compte dans la mesure du possible, des conditions moyennes d'utilisation rencontrées dans le bâtiment (mise en œuvre, température, humidité, vent, vieillissement, etc...).
- Caractéristique thermique déclarée : Caractéristique thermique établie conformément à des spécifications techniques européennes (normes harmonisées ou Documents d'Evaluation Européen) ou bien dans le cadre d'une certification. La caractéristique thermique déclarée peut être différente de la caractéristique thermique utile, notamment si les conventions servant à son élaboration, ne sont pas représentatives de celles rencontrée dans le bâtiment.

4.1.3.2 Symboles et indices

4.1.3.2.1 Coefficient de transmission thermique

Tableau 53 : 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 / |
| 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, | Deux dimensions, trois dimensions | |
| B' | Dimension caractéristique | m |
| d | Épaisseur | m |
| v | Vitesse | m/s |

Tableau 54 : Indices

| | |
|----|----------------------------------|
| e | Extérieur |
| i | Intérieur |
| s | Superficiel |
| t, | Total |
| D | Direct |
| S | Sol |
| u | Non chauffé |
| e | « Équivalent » |
| 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 |

4.1.3.2.2 Facteur solaire

Tableau 55 : Nomenclature pour le facteur solaire

| | | |
|--|--|-------------------|
| A_p | Coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque | - |
| $U_p - C$ | Coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions C, déterminé selon les règles Th-Bat et les normes associées | $W.m^{-2}.K^{-1}$ |
| $U_p - E$ | Coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions E | $W.m^{-2}.K^{-1}$ |
| $R_{se} - C$ $R_{se} - E$ | Résistances thermiques superficielles extérieures (convection et rayonnement) en conditions C | $m^2.K.W^{-1}$ |
| $R_{si} - C$ $R_{si} - E$ | Résistances thermiques superficielles intérieures (convection et rayonnement) en conditions C et E | $m^2.K.W^{-1}$ |
| $U_p - C, non-ventilée$ $U_p - E, non-ventilée$ | Coefficient de transfert thermique dans l'hypothèse d'une lame d'air horizontale non-ventilée en conditions C et E | $W.m^{-2}.K^{-1}$ |
| R_i | Résistance thermique de la partie de la paroi opaque en contact avec l'intérieur | $m^2.K.W^{-1}$ |
| R_e | Résistance thermique de la partie de la paroi opaque en contact avec l'extérieur | $m^2.K.W^{-1}$ |
| R_{la} | Résistance thermique de la lame d'air de la paroi opaque, en supposant celle-ci fermée et | $m^2.K.W^{-1}$ |
| $U_p - C, eq-très-ventilée$ $U_p - E, eq-très-ventilée$ | Coefficient de transfert thermique équivalent dans l'hypothèse d'une lame d'air horizontale très fortement ventilée en conditions C et E | $m^2.K.W^{-1}$ |
| K_{qs} | Coefficient caractéristique des interactions entre le vent et la lame d'air verticale | - |
| H_{IA} | Hauteur de la lame d'air verticales ventilées | m |
| SEA | Surface de la plus petite des différentes sections latérales d'ouverture de la lame d'air ventilée horizontale | m^2 |
| $A_{e,k}$ | 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 | m^2 |

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
- **E** : conditions pour le calcul du confort thermique d'été et le dimensionnement des systèmes de refroidissement.

4.2 Caractéristiques thermiques utiles des parois opaques

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 2 du fascicule (Matériaux).

Les propriétés thermiques utiles (R_u , U_u) des parois doivent être déterminées selon le présent fascicule (Parois opaques) à partir des propriétés thermiques utiles des matériaux et produits déterminées selon le chapitre 2.2 du fascicule (Matériaux).

4.3 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 paragraphes 4.3.1.2.1.2 et 4.3.1.2.3

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 volets roulants est donnée dans le fascicule 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 fascicule 1 (Généralités) pour la détermination de la caractéristique thermique utile correspondante.

4.3.1 METHODES GENERALES

4.3.1.1 *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 de 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.

À 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 trois décimales.

4.3.1.1.1 Couches thermiquement homogènes

4.3.1.1.1.1 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 :

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} \text{ (Formule 225) ;}$$

où

R_i est la résistance thermique de la couche i , en $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;

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

λ_i est la conductivité thermique utile de la couche i déterminée conformément au fascicule « Matériaux », en $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$.

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 :

$$R = \sum R_i \text{ (Formule 226).}$$

4.3.1.1.1.2 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 une longueur ou une largeur comparable à leur épaisseur.
3. Certains espaces non chauffés (combles perdus, garages, buanderies, etc.) 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 fascicule « Parois vitrées ».

4.3.1.1.1.2.1 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. Dans le 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 fascicule « Généralités ».

4.3.1.1.2.2 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 m² 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 :

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \text{ (Formule 227) ;}$$

où

R_g est la résistance thermique de la lame d'air, en m².K/W ;

h_a est le coefficient de convection/conduction, il s'exprime en W/(m².K) et se calcule d'après le Tableau 56 :

Tableau 56 : Calcul de h_a

| 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 (ΔT) ^{1/3} ; 0,025/d) |
| Ascendant | Max (1,95 ; 0,025/d) | Max (1,14 (ΔT) ^{1/3} ; 0,025/d) |
| Descendant | Max (0,12 $d^{-0,44}$; 0,025/d) | Max (0,09 (ΔT) ^{0,187} $d^{-0,44}$; 0,025/d) |

où

d est 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/(m².K) et se calcule comme suit :

$$h_r = E h_{ro} ;$$

où

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

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \text{ (Formule 228) ;}$$

où

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. À défaut de valeurs utiles déterminées selon le présent fascicule ou données dans un document d'Avis Technique, prendre :

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9.$$

h_{r0} est le coefficient de rayonnement du corps noir (cf. formule 10 et Tableau 59).

Des valeurs par défaut de la résistance thermique sont données au Tableau 57 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 $\pm 30\%$ par rapport au plan horizontal.

Tableau 57 : Valeurs de la résistance thermique R

| Épaisseur 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 |

Note 1 : ces valeurs correspondent à une température moyenne de la lame d'air de 10 °C. Note 2 : les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

4.3.1.1.2.3 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 :

- 500 mm² par mètre 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_{sj} sur la surface intérieure de la lame d'air.

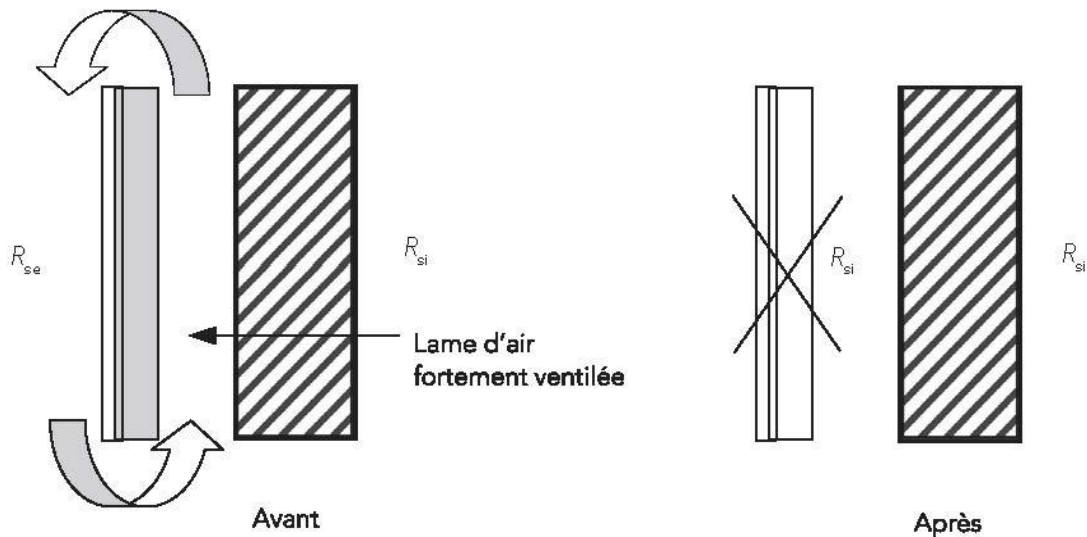


Figure 116 : Traitement des parois contenant une lame d'air fortement ventilée

4.3.1.1.2.4 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 :

- $> 500 \text{ mm}^2$ mais $< 1\,500 \text{ mm}^2$ par m de longueur comptée horizontalement pour les lames d'air verticales ;
- $> 500 \text{ mm}^2$ mais $< 1\,500 \text{ mm}^2$ par m^2 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 :

$$R_T = \frac{1\,500 - A_v}{1\,000} R_{T,n} + \frac{A_v - 500}{1\,000} R_{T,v} ;$$

où

$R_{T,n}$ est la résistance thermique totale de la paroi contenant une lame d'air supposée non ventilée

(cf. paragraphe 4.3.1.1.2.2(Lames d'air non ventilées)) ;

$R_{T,v}$ est la résistance thermique totale de la paroi contenant une lame d'air supposée fortement ventilée

(cf. paragraphe 4.3.1.1.2.3(Lames d'air fortement ventilées)).

4.3.1.1.3 Cavités d'air

4.3.1.1.3.1 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

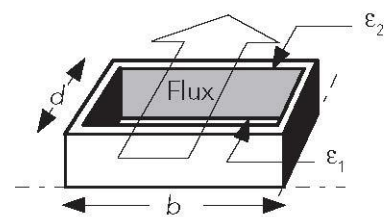


Figure 2

$$h_r = \frac{h_{ro}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 2 + \frac{2}{\left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b}\right)^2} - \frac{d}{b}\right)}} \quad (\text{Formule 229}) ;$$

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 ;

ε_1 et ε_2 sont les émissivités hémisphériques des surfaces, côtés chaud et froid de l'espace d'air ;

h_{ro} est le coefficient de rayonnement du corps noir (cf. formule 10 et Tableau 59) ;

h_a est le coefficient de convection/conduction, il s'exprime en $W/(m^2.K)$ et se calcule d'après le Tableau 56.

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.

4.3.1.1.3.2 Cavités d'air ventilées

Pour une cavité d'air fortement ventilée telle que définie au paragraphe 2.1.1.2.1.2, suivre la procédure spécifiée au paragraphe 2.1.1.2.1.2.

Pour une cavité d'air faiblement ventilée telle que définie au paragraphe 2.1.1.2.1.3, suivre la procédure spécifiée au paragraphe 2.1.1.2.1.3.

4.3.1.1.4 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 fascicule « Généralités » des règles Th-Bat).

4.3.1.1.4.1 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-dessous :

Tableau 58 : Résistance thermique équivalente des combles

| Caractéristiques du toit | | R_u |
|--------------------------|--|-------|
| 1 | Toit à tuiles sans écran, panneaux ou équivalents | 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 que 2, mais avec un revêtement à faible émissivité en sous-face de la | 0,3 |
| 4 | Toit doublé de panneaux et écran | 0,3 |

Note : 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.

4.3.1.1.4.2 *Autres espaces*

Lorsque le bâtiment a un petit espace non chauffé contigu (garages, abris, buanderies, etc.), 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 :

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e,k} U_{e,k}) + 0,33 \times nV} \text{ (Formule 230) ;}$$

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.

4.3.1.1.2 *Couches thermiquement hétérogènes*

Il s'agit de couches présentant une forte hétérogénéité due principalement à la présence simultanée de deux ou de 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 :

$$R = \frac{1}{U_p} - R_{si} - R_{se} \text{ (Formule 231) ;}$$

où

R_{si} et R_{se} sont les résistances superficielles de la paroi côtés intérieur et extérieur, déterminées selon le *paragraphe 3.1.3.3*, 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 *paragraphe 3.1.2*.

4.3.1.1.3 *Résistance superficielle*

4.3.1.1.3.1 *Surfaces planes*

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

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r} \text{ (Formule 232) ;}$$

où

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

avec :

$$h_r = \varepsilon h_{ro} \text{ (Formule 233) ;}$$

$$h_{ro} = 4 \sigma T_m^3 \quad (\text{Formule 234});$$

où

ε 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. À défaut de valeurs données dans les documents d'Avis Techniques ou déterminées selon le présent fascicule, prendre $\varepsilon = 0,9$;

h_{ro} est le coefficient de rayonnement d'un corps noir (cf. Tableau 59) ;

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

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

Tableau 59 : Valeurs de h_{ro}

| Température moyenne T_m en °C | h_{ro} en $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ |
|---------------------------------|--|
| -10 | 4,1 |
| 0 | 4,6 |
| 10 | 5,1 |
| 20 | 5,7 |
| 30 | 6,3 |

h_a est le coefficient d'échanges par convection, en $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$:

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

Tableau 60 : Valeurs de h_a sur les faces intérieures

| Flux de chaleur | h_a ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) |
|-----------------|--|
| Ascendant | 5,0 |
| Horizontal | 2,5 |
| Descendant | 0,7 |

– sur les faces extérieures : $h_a = 4 + 4v$ (Formule 235) ;

où

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

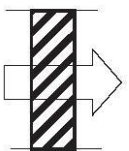

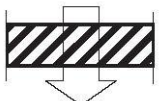
Des valeurs de la résistance superficielle côté extérieur R_{se} sont données dans le tableau suivant en fonction de la vitesse v du vent.

Tableau 61 : Valeurs de Rse en fonction de la vitesse du vent

| Vitesse du vent m/s | Rse (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 |

Les valeurs des résistances superficielles intérieures Rsi et extérieures Rse, données dans le Tableau 62, ont été calculées avec une émissivité corrigée $\epsilon = 0,9$ et hro calculé à 20 °C côté intérieur et à 0 °C côté extérieur pour une vitesse de vent de 4 m/s. En absence d'informations spécifiques sur les conditions aux limites des surfaces planes ces dernières devront être utilisées.

Tableau 62 – Résistances superficielles

| Paroi donnant sur : – l'extérieur – un passage ouvert – un local ouvert(1) | | Rsi m ² .K/W | Rse ⁽²⁾ m ² .K/W | Rsi + Rse m ² .K/W |
|---|---|----------------------------|---|----------------------------------|
| Paroi verticale Inclinaison $\geq 60^\circ$ |  | 0,13 | 0,04 | 0,17 |
| Paroi horizontale Inclinaison $< 60^\circ$ | Flux ascendant  | 0,10 | 0,04 | 0,14 |
| |  | 0,17 | 0,04 | 0,21 |

1. 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 m² /m³. Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre

Nota : La valeur de Rsi pour le flux ascendant s'applique aux planchers dotés d'un système de chauffage intégré et aux entrepôts frigorifiques.

4.3.1.1.3.2 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 :

$$R_{sp} = R_s \frac{A_p}{A} \text{ (Formule 236) ;}$$

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.

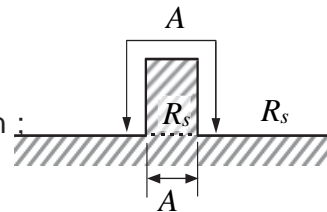


Figure 117 :

4.3.1.2 Coefficient de transmission surfacique U

Le coefficient de transmission surfacique d'une paroi U_p est le flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre 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 trois décimales. Les valeurs de U servant au calcul de la consommation d'énergie dans le bâtiment doivent être exprimées avec deux chiffres significatifs.

4.3.1.2.1 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 (cf. paragraphes 4.3.1.2.2 et 4.3.1.2.3).

4.3.1.2.1.1 Paroi comportant des couches d'épaisseur uniforme

Le coefficient de transmission surfacique global des parois courantes, U_p en W/(m².K), se calcule d'après la formule suivante :

$$U_p = U_c + \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 \text{ (Formule 237) ;}$$

où

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

$$U_c = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \text{ (Formule 238) ;}$$

où

R_{si}, R_{se} sont les résistances superficielles côtés intérieur et extérieur de la paroi, déterminées selon le paragraphe 4.3.1.1.3 du présent fascicule ;

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 est l'impact des ponts thermiques intégrés à la paroi :

$$\Delta U_1 = \frac{\sum_i \psi_i L_i + \sum_j \chi_j}{A} \text{ (Formule 239) ;}$$

où

ψ_i est le coefficient linéique du pont thermique intégré i , déterminé selon le présent fascicule, 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 mètres ;

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 fascicule, 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 :

$$\Delta U_1 = \frac{\phi}{A \times \Delta T} - U_c \text{ (Formule 240) ;}$$

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 à 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 :

$$\Delta U_1 = 0,8 \times \frac{d_1}{d_0} \times \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \times \left(\frac{R_f}{R_{T,h}} \right)^2 \text{ (Formule 17) ;}$$

où

d_1 est la longueur de la fixation, mesurée dans la couche isolante, en mètres ;

d_0 est l'épaisseur de la couche d'isolation pénétrée par la fixation, en mètres ;

λ_f est la conductivité thermique de la fixation, en $W/(m.K)$;

n_f est le nombre de fixations par m^2 ;

A_f est l'aire de la section droite de la fixation, en m^2 ;

R_1 est la résistance thermique de la couche isolante pénétrée par les fixations, en $m^2.K/W$;

$R_{T,h}$ est la résistance thermique totale de la paroi, déterminée sans tenir compte des ponts thermiques intégrés, en $m^2.K/W$;

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

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

où

R_1 est la résistance thermique de la couche isolante contenant les cavités, en $m^2.K/W$;

$R_{T,h}$ est la résistance thermique totale de la paroi, déterminée sans tenir compte des ponts thermiques intégrés, en $m^2.K/W$;

$\Delta U''$ est la correction relative à la présence de cavités et de lames d'air dans la paroi, obtenue d'après le tableau ci-dessous, en $W/(m^2.K)$.

Trois niveaux de correction sont identifiés :

| Niveau | Configuration des cavités et des lames d'air parasites dans la paroi ventilée sur l'extérieur | $\Delta U''$ |
|--------|---|--------------|
| 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 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 :

1. Exemples de procédés constructifs concernés par la correction ΔU_2

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

2. 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, etc.). Les joints entre panneaux isolants sont soit faibles ($e < 5$ mm) soit traités (tenons mortaise, remplissage mastic) :

Joint traité ou d'épaisseur inférieure à 5 mm

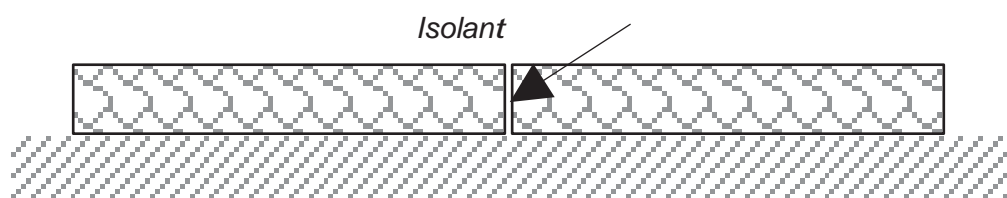


Figure 118 : Support ou parement adjacent

3. 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 5 mm.

Joint ouvert d'épaisseur supérieure à 5 mm

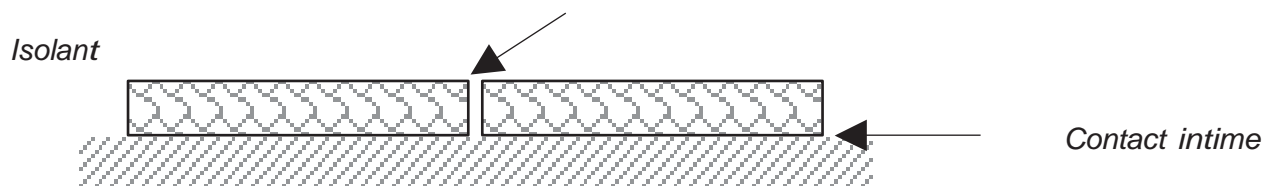


Figure 119 : Support ou parement adjacent

4. 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, etc.). 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.

Joint ouvert d'épaisseur supérieure à 5 mm

Isolant

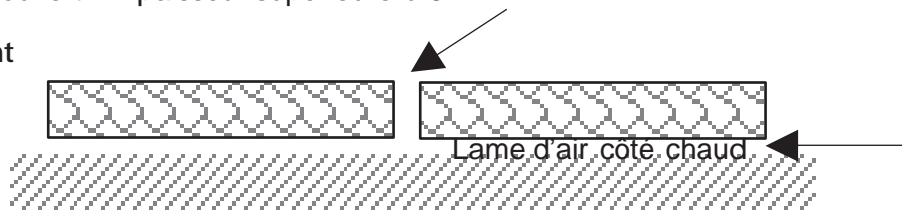


Figure 120 : Support ou parement adjacent

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

$$\Delta U_3 = p f x x \left(\frac{R_1}{R_T} \right) \text{ (Formule 241) ;}$$

où

p est l'intensité moyenne des précipitations pendant la saison de chauffage, en mm/jour (cf. Tableau 63) ;

f est le coefficient d'écoulement donnant la fraction de p atteignant la membrane d'étanchéité ;

x est le coefficient d'augmentation de la déperdition de chaleur provoquée par l'écoulement des eaux de pluie sur la membrane ;

R_1 est la résistance thermique de la couche isolante située au-dessus de la membrane d'étanchéité ;

R_T est la résistance thermique totale de la toiture avant l'application de la correction, en $m^2.K/W$.

Nota 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 correspondants.

Nota 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 dans le fascicule « Matériaux ».

Tableau 63 : Précipitations moyennes en mm/jour

| Département | | p mm/j | Département | | p mm/j | Département | | p mm/j |
|-------------|-------------------|-----------|-------------|-----------------|-----------|-------------|----------------|-----------|
| n° | Nom | | n° | No | | n° | No | |
| 01 | AIN | 2,12 | 33 | GIRONDE | 2,90 | 65 | HAUTES- | 3,33 |
| 02 | AISNE | 1,89 | 34 | HÉRAULT | 2,31 | 66 | PYRÉNÉES- | 1,87 |
| 03 | ALLIER | 1,84 | 35 | ILLE-ET-VILAINE | 1,93 | 67 | BAS-RHIN | 1,33 |
| 04 | ALPES-DE-HAUTE- | 2,03 | 36 | INDRE | 2,06 | 68 | HAUT-RHIN | 1,31 |
| 05 | HAUTES-ALPES | 2,03 | 37 | INDRE-ET-LOIRE | 1,98 | 69 | RHÔNE | 2,12 |
| 06 | ALPES-MARITIMES | 2,74 | 38 | ISÈRE | 2,58 | 70 | HAUTE-SAÔNE | 2,86 |
| 07 | ARDÈCHE | 2,62 | 39 | JURA | 2,21 | 71 | SAÔNE-ET-LOIRE | 2,21 |
| 08 | ARDENNES | 1,89 | 40 | LANDES | 2,87 | 72 | SARTHE | 1,99 |
| 09 | ARIÈGE | 2,85 | 41 | LOIR-ET-CHER | 1,99 | 73 | SAVOIE | 2,91 |
| 10 | AUBE | 1,81 | 42 | LOIRE | 1,56 | 74 | HAUTE-SAVOIE | 2,91 |
| 11 | AUDE | 2,22 | 43 | HAUTE-LOIRE | 1,56 | 75 | VILLE DE PARIS | 1,69 |
| 12 | AVEYRON | 2,19 | 44 | LOIRE- | 2,48 | 76 | SEINE-MARITIME | 2,24 |
| 13 | BOUCHES-DU-RHÔNE | 1,81 | 45 | LOIRET | 1,78 | 77 | SEINE-ET-MARNE | 1,81 |
| 14 | CALVADOS | 2,09 | 46 | LOT | 2,50 | 78 | YVELINES | 1,69 |
| 15 | CANTAL | 1,93 | 47 | LOT-ET-GARONNE | 1,99 | 79 | DEUX-SÈVRES | 1,86 |
| 16 | CHARENTE | 2,40 | 48 | LOZÈRE | 1,56 | 80 | SOMME | 2,04 |
| 17 | CHARENTE-MARITIME | 2,42 | 49 | MAINE-ET-LOIRE | 1,86 | 81 | TARN | 1,83 |
| 18 | CHER | 1,94 | 50 | MANCHE | 1,84 | 82 | TARN-ET- | 1,99 |
| 19 | CORRÈZE | 1,93 | 51 | MARNE | 1,58 | 83 | VAR | 2,42 |
| 20 | CORSE | 2,41 | 52 | HAUTE-MARNE | 2,25 | 84 | VAUCLUSE | 2,01 |
| 21 | CÔTE-D'OR | 1,89 | 53 | MAYENNE | 1,93 | 85 | VENDÉE | 2,32 |
| 22 | CÔTES-D'ARMOR | 2,37 | 54 | MEURTHE-ET- | 2,00 | 86 | VIENNE | 2,07 |
| 23 | CREUSE | 1,93 | 55 | MEUSE | 2,25 | 87 | HAUTE-VIENNE | 3,01 |
| 24 | DORDOGNE | 1,99 | 56 | MORBIHAN | 2,90 | 88 | VOSGES | 2,00 |
| 25 | DOUBS | 3,00 | 57 | MOSELLE | 2,08 | 89 | YONNE | 1,72 |
| 26 | DRÔME | 2,62 | 58 | NIÈVRE | 2,20 | 90 | TERRITOIRE DE | 3,06 |
| 27 | EURE | 1,59 | 59 | NORD | 1,84 | 91 | ESSONNE | 1,69 |
| 28 | EURE-ET-LOIR | 1,59 | 60 | OISE | 1,83 | 92 | HAUTS-DE-SEINE | 1,69 |
| 29 | FINISTÈRE | 2,89 | 61 | ORNE | 2,24 | 93 | SEINE-SAINT- | 1,69 |
| 30 | GARD | 2,44 | 62 | PAS-DE-CALAIS | 1,67 | 94 | VAL-DE-MARNE | 1,69 |
| 31 | HAUTE-GARONNE | 1,83 | 63 | PUY-DE-DÔME | 1,19 | 95 | VAL-D-OISE | 1,69 |
| 32 | GERS | 1,99 | 64 | PYRÉNÉES- | 3,42 | | | |

4.3.1.2.1.2 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) ci-dessous ;

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 :

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

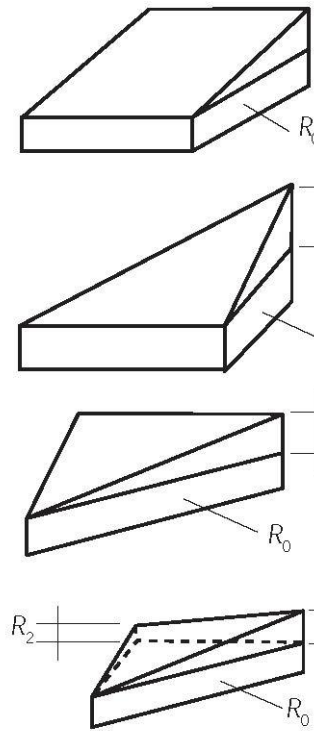


Figure 121 :

où

R_0 est la résistance thermique totale des autres couches inférieures d'épaisseurs homogènes, y compris les résistances superficielles de la paroi, en $m^2.K/W$ ($R_0 \neq 0 m^2.K/W$);

R_1 est la résistance thermique maximale de la couche d'épaisseur variable comme montré sur les figures ci-dessus, en $m^2.K/W$ ($R_1 \neq 0 m^2.K/W$);

R_2 est la 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 121 en (d), en $m^2.K/W$.

4.3.1.2.2 *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).

Des valeurs tabulées du coefficient surfacique équivalent U_e de planchers bas sur terre-plein sont données dans les documents d'application.

4.3.1.2.2.1 *Paramètres de calcul*

4.3.1.2.2.1.1 *Dimension caractéristique du plancher*

$$B' = \frac{A}{1/2P} \text{ (Formule 242) ;}$$

où

B' est la dimension caractéristique du plancher, en mètres ;

- A est l'aire du plancher bas en contact avec le sol, en mètres carrés ;
 P est le périmètre du plancher bas mesuré du côté intérieur, en mètres.

4.3.1.2.2.1.2 Épaisseur équivalente du plancher en contact avec le sol

$$d_t = w + \lambda_s (R_{si} + R_f + R_{se}) \text{ (Formule 243) ;}$$

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 mètres ;

w est l'épaisseur totale du mur, toutes couches comprises, en mètres ;

λ_s est la conductivité thermique du sol non gelé déterminée selon le *fascicule « 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 (un exemple de calcul de R_f est donné au *paragraphe 0*) en $m^2.K/W$;

R_{si} , R_{se} sont les résistances superficielles de la paroi côtés intérieur et extérieur, déterminées selon le *paragraphe 4.3.1.1.3*, en $m^2.K/W$.

4.3.1.2.2.1.3 Épaisseur équivalente des murs enterrés

$$d_w = \lambda_s (R_{si} + R_w + R_{se}) \text{ (Formule 244) ;}$$

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 mètres ;

R_w est la résistance thermique du mur enterré toutes couches comprises, en $m^2.K/W$.

4.3.1.2.2.1.4 Autres paramètres

D est la largeur ou la profondeur de l'isolation périphérique respectivement horizontale ou verticale, en mètres ;

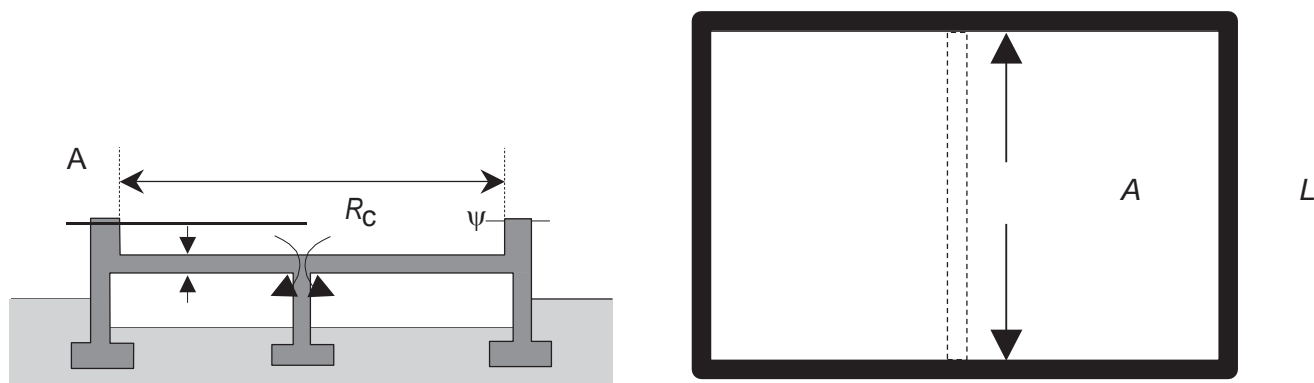
R_n est la résistance thermique de l'isolation périphérique horizontale ou verticale (ou du mur de fondation) en $m^2.K/W$;

d_n est l'épaisseur de l'isolation périphérique (ou du mur de fondation en cas d'isolation répartie), en mètres ;

z est la profondeur moyenne au-dessous du sol de la face inférieure du plancher bas du sous-sol chauffé, en mètres.

4.3.1.2.2.1.5 Calcul de R_f

R_f doit tenir compte des ponts thermiques des liaisons éventuelles avec le plancher bas.



Coupe verticale

Plan

Figure 122 :

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 (cf. figure 8 ci-dessus) et où :

R_p est la résistance thermique du plancher ;

U_p est le coefficient surfacique correspondant ;

ψ est le coefficient linéique de la liaison plancher bas-refend ;

R_f est 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 :

$$R_f = \frac{1}{U_f} - 2R_{si}$$

où

$$U_f = U_p + \frac{\psi \cdot L}{A} ;$$

$$U_p = \frac{1}{R_p + 2R_{si}} ;$$

R_{si} est la résistance superficielle côté intérieur et côté vide sanitaire.

4.3.1.2.2.2 Planchers

4.3.1.2.2.2.1 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. Plancher à isolation continue (cf. *Figure 123*)

$$U_e = U_c \text{ (Formule 245);}$$

2. Plancher à isolation périphérique (cf. *Figure 123*)

$$U_e = U_c + 2 \frac{\Delta\psi}{B'} \text{ (Formule 246);}$$

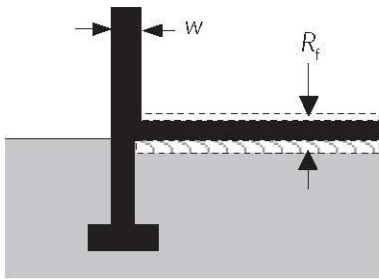


Figure 123 :

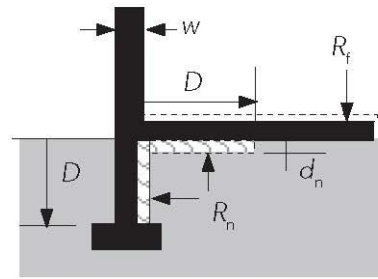


Figure 124 :

où

U_c est le coefficient surfacique « équivalent » du plancher sans l'effet de l'isolation périphérique :

$$\text{Si } d_t < B', \quad U_c = \frac{2\lambda_s}{\pi B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) \text{ (Formule 247);}$$

$$\text{Si } d_t \geq B', \quad U_c = \frac{\lambda_s}{0,457B' + d_t} \text{ (Formule 248);}$$

$\Delta\psi$ est un terme correctif qui tient compte de la présence d'une isolation périphérique :

$$\text{horizontale, } \Delta\psi = -\frac{\lambda_s}{\pi} \left[\ln \left(\frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \text{ (Formule 249);}$$

$$\text{verticale } \Delta\psi = -\frac{\lambda_s}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \text{ (Formule 250);}$$

où

d' est l'épaisseur supplémentaire « équivalente » résultant de la couche d'isolant périphérique, elle s'exprime en mètre et se calcule d'après la formule suivante :

$$d' = \lambda_s R_n - d_n \text{ (Formule 251).}$$

4.3.1.2.2.2.2 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 :

$$\text{Si } \left(d_t + \frac{z}{2} \right) < B', \quad U_e = \frac{2\lambda_s}{\pi B' + d_t + \frac{z}{2}} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + \frac{z}{2}} + 1 \right) \quad (\text{Formule 29});$$

$$\text{Si } \left(d_t + \frac{z}{2} \right) \geq B', \quad U_e = \frac{\lambda_s}{0,457B' + d_t + \frac{z}{2}} \quad (\text{Formule 30}).$$

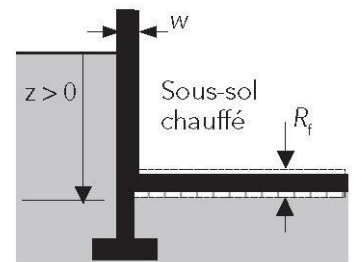


Figure 125 :

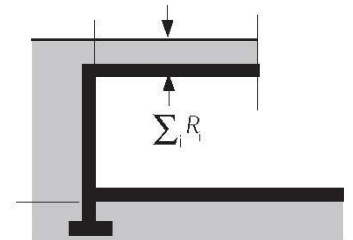


Figure 126 :

4.3.1.2.2.3 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 :

$$U_e = \frac{1}{R_{si} + \sum_i R_i + R_{se}} \quad (\text{Formule 252});$$

où

$\sum_i R_i$ est la somme des résistances thermiques de toutes les couches i comprises entre la face inférieure du plancher et la face supérieure du sol (cf. Figure 126), déterminée selon le paragraphe 4.3.1.1.

4.3.1.2.2.4 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 :

$$\text{si } d_w \geq d_t, \quad U_e = \frac{2\lambda_s}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5 d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (\text{Formule 32});$$

$$\text{si } d_w < d_t, \quad U_e = \frac{2\lambda_s}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5 d_w}{d_w + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (\text{Formule 33}).$$

4.3.1.2.3 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).

Des valeurs tabulées du coefficient surfacique équivalent U_e de planchers bas donnant sur vide sanitaire sont données dans le fascicule paroi opaque - application.

4.3.1.2.3.1 Paramètres de calcul

Les paramètres de calcul donnés au paragraphe 4.3.1.2.2.1 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, exprimée en mètres et calculée d'après la formule suivante :

$$d_g = w + \lambda_s (R_{Si} + R_g + R_{Se}) \text{ (Formule 253) ;}$$

où

R_g est 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 (un exemple de calcul de U_f est donné au *paragraphe 2.2.2.1*) :

$$U_f = U_p + \frac{\sum_k \Psi_k L_k + \sum_k \chi_k}{A} \text{ (Formule 254) ;}$$

où

U_p est le coefficient surfacique du plancher bas exprimé en $W/(m^2.K)$ et calculé selon le *paragraphe 4.3.1.2*.

Ψ_k est le coefficient linéique de la liaison intermédiaire k du plancher bas, exprimé en $W/(m.K)$ et déterminé selon le fascicule - Ponts thermiques ;

χ_k est le coefficient ponctuel k lié à un élément déperditif ponctuel, exprimé en W/K et déterminé selon le fascicule - Ponts thermiques ;

L_k est le linéaire de la liaison intermédiaire (cf. Définitions au *paragraphe 4.1.3*), en mètres ;

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 mètres.

z est la profondeur moyenne du sol du vide sanitaire au-dessous du niveau du sol extérieur, en mètres.

p est le périmètre du vide sanitaire ou du sous-sol non chauffé, en mètres.

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 le *paragraphe 4.3.1.2*

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.

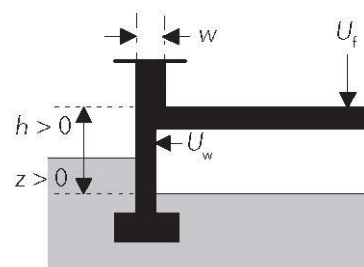
v est la vitesse moyenne du vent à 10 m de hauteur, en m/s .

En l'absence de valeur mesurée, prendre : $v = 4 \text{ m/s}$.

4.3.1.2.3.2 Planchers sur vide sanitaire

La méthode de calcul ci-dessous 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 :



$$\frac{1}{U_e} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \text{ (Formule 255) ;}$$

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 ;

si $z > 0,5$ m, $U_g = U_{bf} + \frac{z_p}{A} U_{bw}$ (Formule 256) ;

où

U_{bf} correspond aux déperditions par le sol du vide sanitaire et calculé d'après la *formule 29* 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 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* :

$$U_x = \frac{2hU_w}{B'} + \frac{1450 \varepsilon v f_w}{B'} \text{ (Formule 257) ;}$$

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 64*:

Tableau 64 : Valeurs forfaitaires de f_w

| Situation | Exemple | f_w |
|-----------|--------------|-------|
| Abritée | Centre ville | 0,02 |
| Moyenne | Banlieue | 0,05 |
| Exposée | Milieu rural | 0,10 |

4.3.1.2.3.3 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 :

$$\frac{1}{U_e} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} ;$$

où

U_f est le coefficient de transmission surfacique global du plancher bas déterminé selon la formule 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 $W/(m^2.K)$ et calculé d'après la formule :

$$U_g = U_{bf} + \frac{z\rho}{A} U_{bw} ;$$

où

U_{bf} correspond aux déperditions par le sol du sous-sol non chauffé et calculé d'après les formules 29 ou 30, en remplaçant d_t par d_g ;

U_{bw} correspond aux déperditions à travers la partie enterrée du mur de subsassement 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 :

$$U_x = \frac{2hU_w}{B'} + \frac{0,33nV}{A} \text{ (Formule 258) ;}$$

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.

4.3.1.2.3.4 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.

4.3.1.2.4 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 :

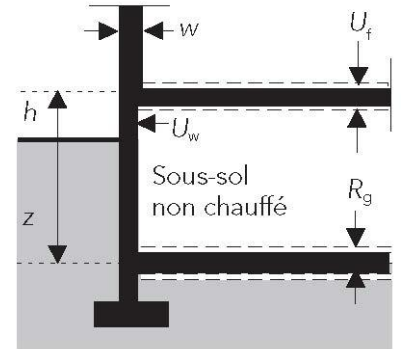


Figure 14

$$U_e = \frac{\sum U_{ei} A_i}{\sum A_i};$$

où

U_{ei} est le 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 est la 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 :

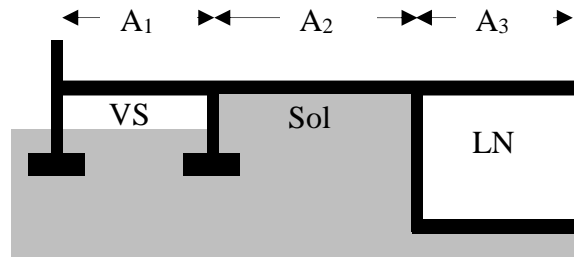


Figure 127 :

4.3.1.3 Facteur Solaire S

La définition du facteur de transmission solaire d'une paroi opaque ne fait pas l'objet d'un contexte normatif spécifique. Le présent document propose donc une méthode générale de calcul à partir du coefficient de transmission thermique U_p de la paroi opaque considérée.

4.3.1.3.1 Méthode de calcul 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 |
| Toutes incidences | Global | S_{p-C} | S_{p-E} |

Tableau 65 :facteurs solaires calculés pour les parois opaques

Les résultats sont calculés de la manière suivante :

$$\begin{aligned} S_{p-C} &= \alpha_p \cdot U_{p-C} \cdot R_{se-C} \\ S_{p-E} &= \alpha_p \cdot U_{p-E} \cdot R_{se-E} \end{aligned} \quad \text{(Formule 259)}$$

Où :

- α_p est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque,
- U_{p-C} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions C, déterminée selon le §4.3.1.2 et les normes associées en W.m-2.K-1,
- U_{p-E} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions E (voir formule xx) 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 m².K.W-1,

En l'absence de valeurs de α_p mesurées, les valeurs par défaut suivantes peuvent être utilisées :

| Catégorie | Couleurs | Valeur de α_p 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 66 : valeurs de α_p 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 67 : résistances superficielles extérieures en conditions C et E utilisées dans les règles Th-S

Le coefficient de transmission thermique en conditions E, U_{p-E} , est calculé de la manière suivante :

$$\frac{1}{U_{p-E}} = \frac{1}{U_{p-C}} - (R_{se-C} + R_{si-C}) + (R_{se-E} + R_{si-E}) \quad (\text{formule 260})$$

$$\text{Soit } \frac{1}{U_{p-E}} = \frac{1}{U_{p-C}} + 0,03$$

Où R_{si-C} et R_{si-E} sont les résistances thermiques superficielles intérieures (convection et rayonnement) (W/m².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 68 :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.

4.3.1.3.2 *Facteur solaire des parois opaques avec lame d'air ventilées*

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.

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 :

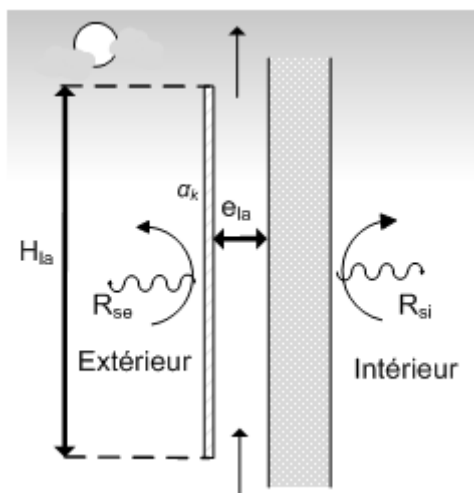


Figure 128 : représentation d'une paroi opaque verticale à lame d'air extérieure ventilée

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 :

$$\begin{aligned}
 S_{C,p} &= \alpha_p \cdot R_{se,C} \cdot K_{corr_la,C} \cdot U_{p-C} \\
 S_{E,p} &= \alpha_p \cdot R_{se,E} \cdot K_{corr_la,E} \cdot U_{p-E}
 \end{aligned}
 \tag{Formule 261}$$

Où :

- α_p est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque (voir Tableau 66).

- 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_{p-C} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions C, déterminée selon §4.3.1.2 et les normes associées en $W.m^{-2}.K^{-1}$,
- U_{p-E} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions E (voir équation xxx) en $W.m^{-2}.K^{-1}$,
- $K_{corr_la,C}$ et $K_{corr_la,E}$ 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 69 : cas des lames d'air verticales ventilées sur l'extérieur, valeurs du coefficient $K_{corr_la,E}$

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.

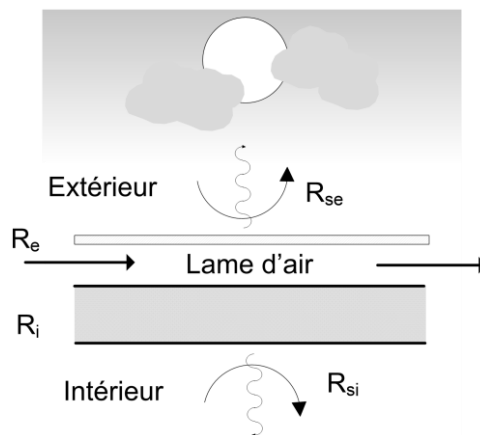


Figure 129 : représentation d'une paroi opaque horizontale à lame d'air extérieure ventilée

La valeur des facteurs solaires $S_{C,p}$ et $S_{E,p}$ 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:

$$\begin{aligned}
 S_{C,p} &= \alpha_p \cdot R_{se,C} \cdot \left[K_{qs} \cdot U_{p-C,non-ventilée} + (1 - K_{qs}) \cdot U_{p-C,eq_tres_ventilée} \right] \\
 S_{E,p} &= \alpha_p \cdot R_{se,E} \cdot \left[K_{qs} \cdot U_{p-E,non-ventilée} + (1 - K_{qs}) \cdot U_{p-E,eq_tres_ventilée} \right]
 \end{aligned}
 \tag{Formule 262}$$

Où :

- α_p est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque (voir Tableau 66).

- 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.

- $U_{p-C,non-ventilée}$ et $U_{p-E,non-ventilée}$ les conductivités thermiques dans l'hypothèse d'une lame d'air non-ventilée en conditions C et E, sont obtenues par les relations suivantes :

$$U_{p-C,non-ventilée} = \frac{1}{R_e + R_i + R_{la} + R_{se,C} + R_{si,C}} \quad (\text{Formule 263})$$

$$U_{p-E,non-ventilée} = \frac{1}{R_e + R_i + R_{la} + R_{se,E} + R_{si,E}}$$

Avec :

- R_i est la résistance thermique de la partie de la paroi en contact avec l'intérieur, en $m^2.K.W^{-1}$,
- R_e est la résistance thermique de la partie de la paroi en contact avec l'extérieur, en $m^2.K.W^{-1}$,
- R_{la} est la résistance thermique de la lame d'air, en supposant celle-ci fermée et non-ventilée, $m^2.K.W^{-1}$.

- $U_{p-C,eq-très-ventilée}$ et $U_{p-E,eq-très-ventilée}$ 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 :

$$U_{p-C,eq-très-ventilée} = \frac{1}{(R_e + R_{se-C} + 0,06) \times (R_i + R_{si-C} + 0,06) \times \left(\frac{1}{R_e + R_{se-C} + 0,06} + \frac{1}{R_i + R_{si-C} + 0,06} + 30 \right)} \quad (\text{Formule 264})$$

$$U_{p-E,eq-très-ventilée} = \frac{1}{(R_e + R_{se-E} + 0,06) \times (R_i + R_{si-E} + 0,06) \times \left(\frac{1}{R_e + R_{se-E} + 0,06} + \frac{1}{R_i + R_{si-E} + 0,06} + 30 \right)}$$

- K_{qs} , coefficient caractéristique des interactions entre le vent et la lame d'air est déterminé à partir du tableau suivant, à partir de :

- S_{EA} , surface de la plus petite des différentes sections latérales d'ouverture, en m^2 ,
- $A_{e,p}$, surface totale de la face intérieure de la partie en contact avec l'extérieur de la paroi opaque, en m^2 ,

| Rapport $\frac{S_{EA}}{A_{e,p}}$ | Situation de la lame d'air | |
|----------------------------------|---|------------|
| | Site ouvert (exposé aux vents), et lame d'air traversante ¹² | 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 |

¹² 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.

Tableau 70 :valeurs du coefficient caractéristique K_{qs} pour le cas des lames d'air ventilées sur l'extérieur et proches de l'horizontale,

4.3.1.3.3 Facteur solaire d'une paroi opaque végétalisée

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.

Paroi opaque d'inclinaison β inférieure ou égale à 60° (horizontale ou inclinée autour de 45°) :

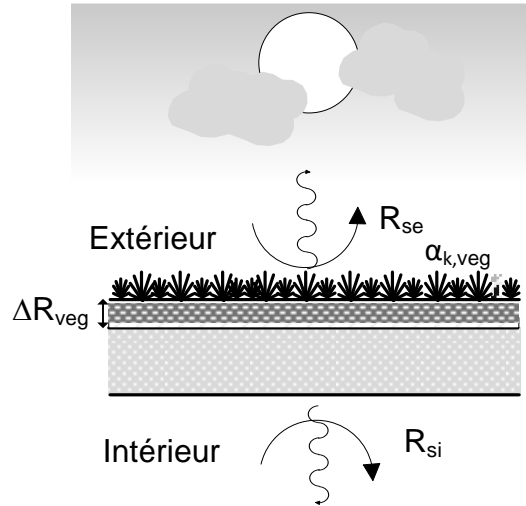


Figure 130 : paroi opaque horizontale végétalisée

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 :

$$S_{E,p} = \alpha_{p,veg} \cdot U_{p-E,veg} \cdot R_{se,E} \cdot [100 - \Delta t_{hum}]$$

$$S_{C,p} = \frac{1}{2} \times S_{E,p}$$

(Formule 265)

Avec :

- $\alpha_{p,veg}$ 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 |
| α_{pveg} | 0,70 | 0,40 |

Tableau 71 : Coefficient d'absorption énergétique équivalent de la paroi végétalisée

- $U_{p-E,veg\ sec}$ 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 en W.m-2.K-1. Il peut être déterminé par la relation suivante :

$$\frac{1}{U_{p-E,veg\ sec}} = \frac{1}{U_{k-C}} - (R_{se-C} + R_{si-C}) + (R_{se-E} + R_{si-E}) + \Delta R_{veg} \quad \text{(Formule 266)}$$

Avec :

- U_{p-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-Bat et les normes associées, en W.m-2.K-1
- ΔR_{veg} est la résistance thermique additionnelle associée à la couche de drainage et au substrat sec, en m².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 72 : 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 m².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 (Tours) H2c (Agen) | 10 | 35 | 10 | 20 |
| H2d (Carpentras) H3 (Nice) | 5 | 20 | 5 | 15 |

Tableau 73 : Pourcentage de temps durant lequel le substrat est humide en période estivale, en fonction des caractéristiques de la toiture et de la zone climatique

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 74 :valeurs par défaut de facteurs de transmission solaire pour les parois opaques végétalisées

4.3.2 ELEMENTS DE METHODES COMPLEMENTAIRES

Ce chapitre contient des compléments de méthodes spécifiques à des procédés particuliers.

4.3.2.1 *Etalement sur plancher haut de matériaux 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 4.3.1.2.1 du présent fascicule.

Sachant que la résistance thermique R de la couche isolante, en $m^2.K/W$ est déterminée de la manière suivante :

$$R = \frac{e \times (1 - s)}{\lambda} \quad (\text{formule 267})$$

Où :

- R est la résistance thermique en $m^2.K/W$;
- e est l'épaisseur de la couche déposée (mesurée après sa mise en œuvre) en mètres ;
- λ est la conductivité thermique utile déterminée conformément au fascicule « matériaux » en $W/(m.K)$;
- s est le tassement sans unité :

$$s = \frac{e - e_f}{e} \quad (\text{formule 268})$$

Où :

- e_f est l'épaisseur après tassement en mètres ;

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, les valeurs de ponts thermiques intégrés associés.

Les deux modes d'application : déversement manuel et soufflage, font l'objet de deux paragraphes différents.

Pour l'ensemble des matériaux visés, sont précisées dans les tableaux ci-après, la valeur de tassement, la conductivité thermique par défaut et la plage de masse volumique du matériau mis en œuvre.

4.3.2.1.1 Soufflage à la machine sur plancher plat

| Matériaux | Masse volumique en œuvre (ρ) kg/m ³ | Tassement (s) Sans unité | Conductivité thermique utile (λ) W/(m.K) |
|--------------------|--|-----------------------------|---|
| Ouate de cellulose | $30 \leq \rho \leq 45$ | 0,30 | 0,046 |
| Fibres de bois | $20 \leq \rho \leq 40$ | 0,35 | 0,051 |
| Fibres de coton | $10 \leq \rho \leq 20$ | 0,35 | 0,055 |
| Chanvre et lin | $10 \leq \rho \leq 20$ | 0,35 | 0,058 |
| Laines minérales | $10 \leq \rho \leq 25$ | 0,05 | 0,056 |

4.3.2.1.2 Déversement manuel sur plancher plat

| Matériaux | Masse volumique en œuvre (ρ) kg/m ³ | Tassement (s) Sans unité | Conductivité thermique utile (λ) W/(m.K) |
|---------------------------------------|--|-----------------------------|---|
| Ouate de cellulose | $60 \leq \rho \leq 80$ | 0,30 | 0,049 |
| Chanvre et lin | $15 \leq \rho \leq 25$ | 0,35 | 0,060 |
| Laines minérales | $30 \leq \rho \leq 60$ | 0,05 | 0,065 |
| Vermiculite : classe granulaire 0.5/5 | $80 \leq \rho \leq 110$ | 0 | 0,085 |

4.3.2.1.3 Soufflage à la machine ou déversement manuel sur plancher à solives

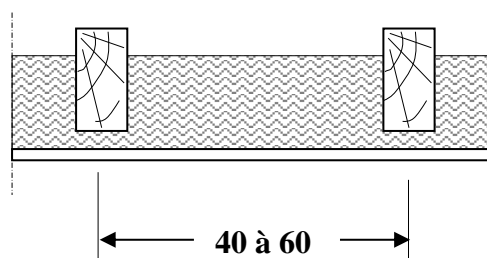


Figure 131 :

Le coefficient U_p d'un plancher haut à solive isolé avec des matériaux en vrac, doit être calculé conformément au paragraphe 4.3.1.2.1 du présent fascicule en tenant compte des ponts thermiques intégrés induits par les solives de plancher.

Les valeurs de ponts thermiques intégrés doivent être déterminées numériquement conformément au fascicule – ponts thermiques.

4.3.2.2 Produits réfléchissants

Le coefficient de transmission thermique utile des parois intégrant un produit réfléchissant dépend des paramètres suivants :

- nature (à bulles, multicouches, etc.) et épaisseur du produit ;
- émissivités des deux faces et effet du vieillissement sur l'émissivité (dépôt de poussière, altération de la surface, etc.) ;
- nombre de lames d'air adjacentes au produit (0, 1 ou 2 lames d'air), leur étanchéité à l'air vis-à-vis de l'ambiance extérieure, la température moyenne de la lame d'air et la différence de température entre les faces en vis-à-vis ;
- sens du flux traversant la paroi (horizontal, vertical ascendant, vertical descendant) ;

– ponts thermiques intégrés générés par les systèmes de fixation du produit (agrafes, solives, etc.).

Nota : une attention particulière doit être portée lors de la mise en œuvre du produit pour éviter les risques de pathologies liés notamment à la dégradation de la charpente en bois.

À défaut de valeurs fournies dans les Avis Techniques, le coefficient de transmission surfacique utile U_p se calcule d'après la formule suivante :

$$U_p = U_c + \Delta U \text{ (Formule 269) ;}$$

où

U_c est le coefficient de transmission surfacique en partie courante en $W/(m^2.K)$, déterminé selon la formule suivante :

$$U_c = 1/(R_r + \sum R_L + R_p) \text{ (Formule 270) ;}$$

où

R_r est la résistance thermique intrinsèque du produit réfléchissant, soit déterminée selon la norme EN 16012-A1 – Avril 2015, soit donnée dans une Évaluation Technique Européenne, soit dans un Avis Technique ou équivalent. En l'absence d'une justification selon les documents précédemment cités, elle est déterminée selon le tableau ci-après (interpolation possible) :

Tableau 75 : Résistance thermique des produits réfléchissants en $m^2.K/W$

| Type | Épaisseur du produit réfléchissant (mm) | | | | |
|--------------|---|------|------|------|------|
| | 0 | 5 | 10 | 20 | 40 |
| À bulles | 0 | 0,06 | 0,10 | 0,20 | 0,48 |
| Multicouches | 0 | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 0,80 |

R_L est la résistance thermique de la lame d'air L . À défaut de valeur calculée conformément à ce fascicule, R_L doit être déterminée selon le tableau ci-dessous (calculs effectués pour $T_e = 0$, $T_i = 20^\circ C$). Si l'émissivité utile n'est pas donnée dans un Avis Technique, prendre $\varepsilon = 0,5$ (si lame non ventilée) et $\varepsilon \geq 0,8$ (si lame faiblement ou fortement ventilée).

Tableau 76 : Résistance thermique d'une lame d'air d'épaisseur minimale ≥ 2 cm intégrant une face peu émissive, en $m^2.K/W$

| Lame d'air | Émissivité | Flux horizontal | Flux vertical ascendant | Flux vertical descendant |
|---------------------|------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| Non ventilée | 0,05 | 0,53 | 0,37 | 0,92 |
| | 0,1 | 0,47 | 0,34 | 0,74 |
| | 0,2 | 0,39 | 0,29 | 0,54 |
| | 0,5 | 0,34 | 0,21 | 0,31 |
| | $\geq 0,8$ | 0,19 | 0,17 | 0,22 |
| Faiblement ventilée | 0,05 | 0,27 | 0,19 | 0,46 |
| | 0,1 | 0,24 | 0,17 | 0,37 |
| | 0,2 | 0,20 | 0,15 | 0,27 |
| | 0,5 | 0,17 | 0,11 | 0,16 |
| | $\geq 0,8$ | 0,10 | 0,09 | 0,11 |

| | | |
|---|-----------------------------|-----|
| Fortement | $0 \leq \varepsilon \leq 1$ | 0,0 |
| Note : interpolation linéaire possible pour des émissivités intermédiaires. | | |

R_p est calculée en ajoutant les résistances thermiques superficielles à la résistance thermique des parements et de l'isolation complémentaire éventuelle ;

ΔU est la majoration de U_c due à l'effet des ponts thermiques intégrés, en $W/(m^2.K)$:

$$\Delta U = \sum \psi_i / E_i + \sum n_j \chi_j \quad (\text{Formule 271}) ;$$

où

ψ_i est le coefficient de transmission linéique du pont thermique intégré i , en $W/(m.K)$;

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

E_i est l'entraxe entre ponts thermiques linéaires de type i , en m ;

n_j est la densité par mètre carré de paroi des ponts thermiques ponctuels.

En cas d'une ossature bois, et en absence de valeurs calculées de ψ_i et de χ_j prendre $\Delta U = 0,08 W/(m^2.K)$.

1 Exemples

1. Calcul d'un rampant intégrant un produit réfléchissant

Rampant de toiture incliné à 45° intégrant un produit réfléchissant multicouches de 2 cm d'épaisseur ayant une émissivité utile validée par un Avis Technique de 0,05 sur la face intérieure et de 0,4 sur la face extérieure et aménageant deux lames d'air de 3 cm d'épaisseur chacune de part et d'autre du produit. La lame située côté intérieur est considérée comme non ventilée et celle côté extérieur est considérée comme fortement ventilée. La résistance thermique du parement intérieur est de $0,05 m^2.K/W$.

$$U_p = U_c + \Delta U ;$$

$$U_c = 1/(R_r + \sum R_l + R_p) ;$$

$$R_r = 0,4 m^2.K/W ;$$

$$R_{\text{lame intérieure}} = 0,37 m^2.K/W ;$$

$$R_{\text{lame extérieure}} = 0,0 m^2.K/W ;$$

l

$$\sum R = 0,37 + 0,0 = 0,37 m^2.K/W ; R_p = 0,05 + R_{si} + R_{se} = 0,25 m^2.K/W \quad (R_{se} = R_{si} = 0,1 m^2.K/W) ;$$

$$U_c = 0,98 W/(m^2.K) \quad U_p = 0,98 + 0,08 = 1,1 W/(m^2.K).$$

2. Calcul d'un mur intégrant un produit réfléchissant

Un mur en béton intégrant un produit réfléchissant multicouches de 2 cm d'épaisseur ayant une émissivité utile validée par un Avis Technique, de 0,05 sur les deux faces et aménageant deux lames d'air non ventilées de 3 cm d'épaisseur chacune, de part et d'autre du produit (cette configuration nécessite une mise en œuvre soignée). La résistance thermique du mur et du parement intérieur est de $0,25 m^2.K/W$.

$$U_p = U_c + \Delta U ;$$

$$U_c = 1/(R_r + \Sigma R_L + R_p) ;$$

$$R_r = 0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} ;$$

$$R_{\text{lame intérieure}} = 0,53 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} ;$$

$$R_{\text{lame extérieure}} = 0,53 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} ;$$

$$\Sigma R = 0,53 + 0,53 = 1,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \quad R_p = 0,15 + R_{si} + R_{se} = 0,32 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \quad (R_{se} + R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}) ;$$

$$U_c = 0,562 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U_p = 0,562 + 0,08 = 0,64 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

5. FASCICULE « PONTS THERMIQUES »

5.1 Introduction

Ce fascicule décrit les principes de la méthode de calcul des ponts thermiques et contient des valeurs par défaut, calculées conformément à ladite méthode et aux normes correspondantes citées au § 5.3.

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 « Généralités » des Règles Th-U.

5.1.1 *DOMAINE D'APPLICATION*

Le présent fascicule fournit les méthodes de calcul pour les ponts thermiques à prendre en compte dans le cadre d'un calcul réglementaire de consommation ou de confort d'été.

Il fournit des valeurs par défaut de ponts thermiques pour des configurations courantes qui peuvent être utilisées pour la caractérisation thermique des bâtiments neufs en l'absence d'un calcul précis réalisé conformément à la méthode générale donnée au §5.2.3.1 du présent fascicule.

5.1.2 *REFERENCES 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

5.1.3 *DEFINITIONS, SYMBOLES ET INDICES*

5.1.3.1 *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.
- **Valeurs tabulées** : valeurs obtenues par application directe des méthodes et valables dans les plages de donnée d'entrée utilisées pour l'application des méthodes,
- **Valeurs par défaut** : valeurs sécuritaires à utiliser comme caractéristique thermique utile pour le bâtiment neuf ou rénové en absence de valeur déclarée et sans justification particulière,

5.1.3.2 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/(m ² .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 | m ² .K/W |
| R _{se} | Résistance thermique superficielle extérieure | m ² .K/W |
| λ | Conductivité thermique | W/(m.K) |
| A | Surface | m ² |
| 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 | m ² .K/W |
| R _{sc} | Résistance thermique de la couche d'isolant sous chape flottante | m ² .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 | |

5.1.3.3 Indices

| | |
|----|------------------|
| i | Intérieur |
| e | Extérieur ou LNC |
| p | Plancher |
| m | Mur |
| r | Refend |
| c | chaînage |
| po | Poutre |
| f | Feuillure |
| C | Consommation |
| E | Confort d'été |

5.2 Méthodes de calcul des ponts thermiques

5.2.1 DEFINITION 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.

5.2.2 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

5.2.3 PROCEDURE DE CALCUL

5.2.3.1 Calcul numérique des ponts thermiques

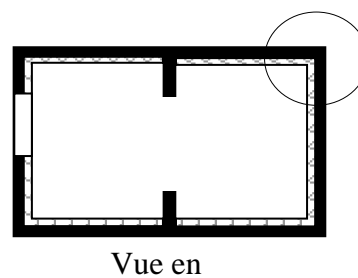
On se limite ici à une description succincte de la méthode de calcul numérique des coefficients de déperdition des ponts thermiques. Pour plus de détail se référer aux normes citées au § 5.1.2.

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.

5.2.3.2 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.



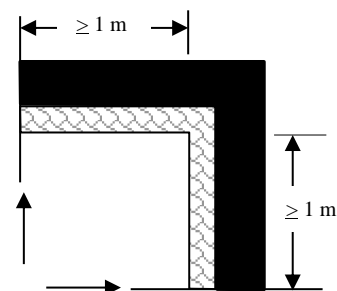
Vue en

Figure 132 :

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



modèle géométrique

Figure 133 :

5.2.3.3 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.

Zone centrale
Maille maximale 25
X 25 mm

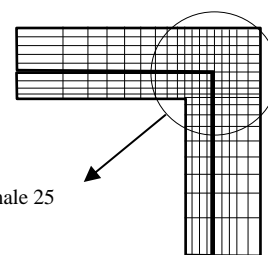


Figure 134 :

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

5.2.3.4 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 fascicule matériaux des Règles Th-Bat.

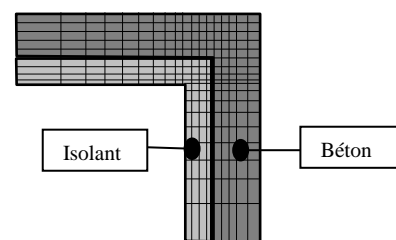


Figure 135 :

5.2.3.5 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.

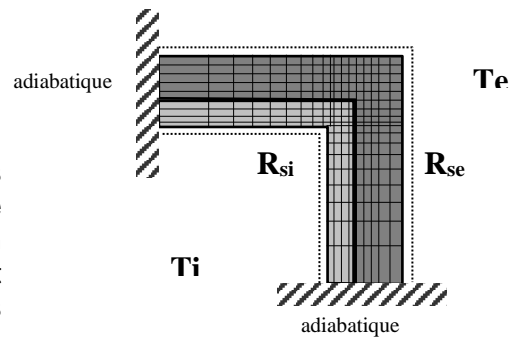


Figure 136 :

Le fascicule Généralités des règles Th-bat précise les valeurs des températures et des résistances superficielles à utiliser.

5.2.3.6 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).

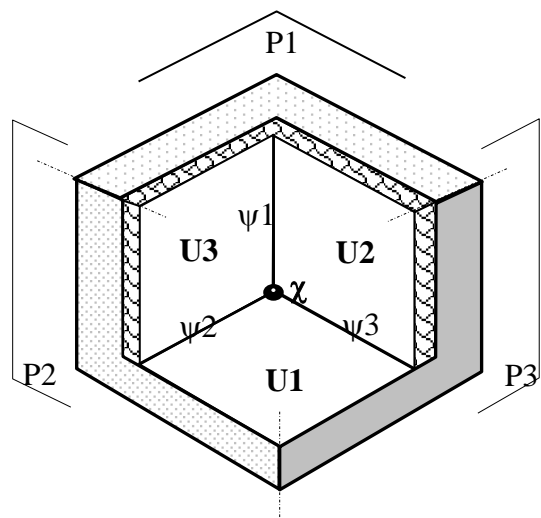


Figure 137 : modèle géométrique 3 D

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).

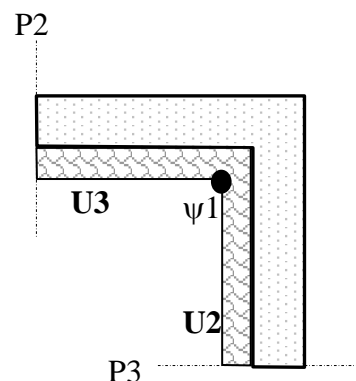


Figure 138 : modèle géométrique

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 $\sum \phi_k$ 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 .

E.1 – Cas où les flux $\sum \phi_k$ 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 :

$$\chi = \frac{\phi_T - \sum \phi_k}{\Delta T} \quad \text{donc} \quad \chi = \frac{\phi_T}{\Delta T} - \sum_{i=1}^N U_i A_i - \sum_{j=1}^M \psi_j L_j \quad \text{W/K} \quad (272)$$

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
K 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 :

$$\psi = \frac{\phi_T - \sum \phi_k}{\Delta T} \quad \text{donc} \quad \psi = \frac{\phi_T}{\Delta T} - \sum_{i=1}^N U_i L_i \quad \text{W/(m.K)} \quad (273)$$

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
K 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)

Li 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 fascicule Parois opaques des règles Th-bat.

E.2 – Cas où les flux $\Sigma\phi_k$ 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 A, B, C, D
- 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.

F – 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.

5.2.3.7 Conventions de calcul pour la prise en compte de la déviation du flux dans les lames d'air

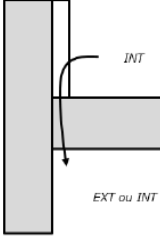
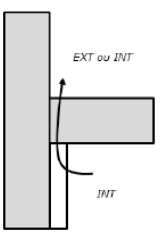
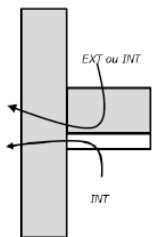
Ces valeurs ne s'appliquent pas aux calculs des coefficients des transmissions thermiques surfaciques U qui doivent être réalisés selon le fascicule « Parois opaques » des règles Th-bat.

Pour le calcul des ponts thermiques de liaison par méthode numérique, les conductivités thermiques équivalentes dans les lames d'air non ventilées données dans le tableau ci-après doivent être considérées.

Note 1 : ces valeurs doivent également être utilisées dans le cas de cavité d'air ou d'alvéoles débouchant sur des murs ou des planchers.

Note 2 : ces valeurs doivent être utilisées aussi bien dans le cas d'une continuité ou d'une discontinuité de la couche isolante située entre la lame d'air non ventilée et la paroi adjacente.

Note 3 : ces valeurs s'appliquent quelle que soit la position de la lame d'air dans la paroi.

| | | λ_{eq} en W/(m.K) de la lame d'air pour le calcul des ponts thermiques de liaison | | | |
|---|--|---|--|---|---|
| | | $e_{lame} \leq 20 \text{ mm}$ | $20 \text{ mm} < e_{lame} \leq 100 \text{ mm}$ | $100 \text{ mm} < e_{lame} \leq 200 \text{ mm}$ | $200 \text{ mm} < e_{lame} \leq 300 \text{ mm}$ |
| <p>Lame d'air verticale débouchant sur un plancher bas ou la face supérieure d'un plancher intermédiaire</p>  | | 0.12 Ou calcul selon NF EN ISO 6946 avec flux horizontal | 0.5 Ou calcul selon NF EN ISO 6946 | 1* | 1* |
| <p>Lame d'air verticale débouchant sur un plancher haut ou la face inférieure d'un plancher intermédiaire</p>  | | 0.12 Ou calcul selon NF EN ISO 6946 avec flux horizontal | 1* | 1.5* | 2* |
| <p>Lame d'air horizontale débouchant sur un mur (**)</p>  | | 0.12 Ou calcul selon NF EN ISO 6946 avec flux ascendant | 1* | 1.5* | 2* |

(*) La norme NF EN ISO 6946 ne s'applique pas.

(**) Ces valeurs s'appliquent à la fois dans le cas d'un flux ascendant ou descendant.

e_{lame} est l'épaisseur de la lame d'air en mm

λ_{eq} est la conductivité thermique équivalente de la lame d'air utilisée pour le calcul des ponts thermiques.

Tableau 77. Valeurs conventionnelles de conductivité thermique de lame d'air pour le calcul des ponts thermiques

Le pont thermique de liaison se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$\Psi = \frac{\Phi_t}{\Delta T \cdot l} - \sum_i U_i \cdot L_i$$

Φ_t est le flux total traversant le modèle numérique, exprimé en W, calculé en tenant compte du λ_{eq} donné dans le Tableau 77 ou par une simulation thermique couplée solide-fluide ;

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

l est la profondeur du modèle, exprimée en m ;

U_i est le coefficient de transmission thermique surfacique de la paroi i impliquée dans la liaison, exprimé en W/(m².K). Dans le cas où une lame d'air non ventilée est présente dans la paroi i , le calcul de U_i doit tenir compte de sa résistance thermique calculée selon le fascicule « Parois opaques » des règles Th-Bat et norme NF EN ISO 6946 ;

L_i est la longueur de la paroi i , exprimée en m.

5.2.4 FACTEURS SOLAIRES

La définition du facteur de transmission solaire des ponts thermiques ne fait pas l'objet d'un contexte normatif spécifique. Le présent fascicule propose donc une méthode de calcul, basée sur le coefficient Ψ du pont thermique de la liaison considérés déterminées en condition C conformément à la méthode générale de calcul détaillé au §5.2.3.1 du présent document 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 directes du soleil, diffuse du ciel ou réfléchi par le sol, ni sur les composantes à l'intérieur des locaux : on ne considère qu'un facteur de transmission solaire global.

Le facteur solaire du pont thermique de liaison peut être négligé si $\psi_{l-C} \leq 0,08 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

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.

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.

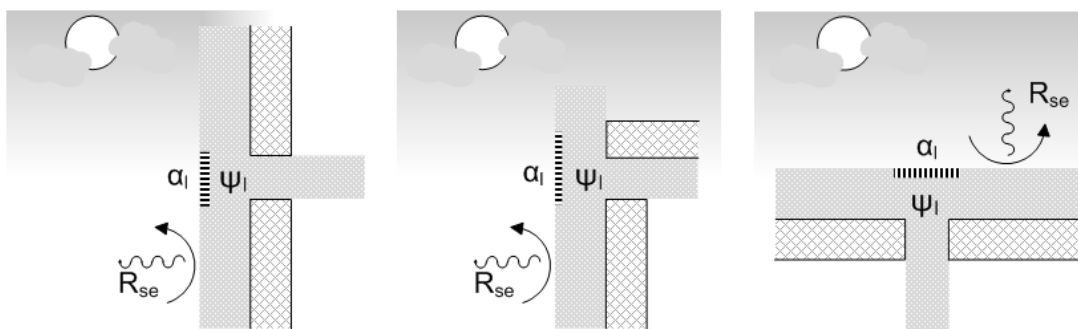


Figure 139 : ponts thermiques de liaison au droit d'une surface plane

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 :

$$S_{f-C,l} = a_l \cdot \psi_{l-C} \cdot R_{se-C} \quad (274)$$

$$S_{f-E,l} = a_l \cdot \psi_{l-E} \cdot R_{se-E}$$

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 78 ci-après :

| 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 78: valeurs de α_k par défaut pour les parois opaques

- ψ_{I-C} est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique en conditions C.

ψ_{I-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 :

$$\frac{1}{\psi_{I-E}} = \frac{1}{\psi_{I-C}} - (R_{se-C} + R_{si-C}) + (R_{se-E} + R_{si-E}) \quad (275)$$

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, données dans le **Tableau 79** ci-après.

| 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 79: résistances superficielles intérieures en conditions C et E

- R_{se-C} et R_{se-E} sont les résistances thermiques superficielles extérieures (convection et rayonnement) en conditions C et E prises égales à $0,04 m^2.K/W$, exprimées en $m^2.K.W^{-1}$.

PONTS THERMIQUES DE LIAISON AU DROIT D'UN DEBORD

Le pont thermique peut se situer au droit d'un débord vertical (mur de refend) ou d'un débord horizontal (balcons, dépassement du plancher...).

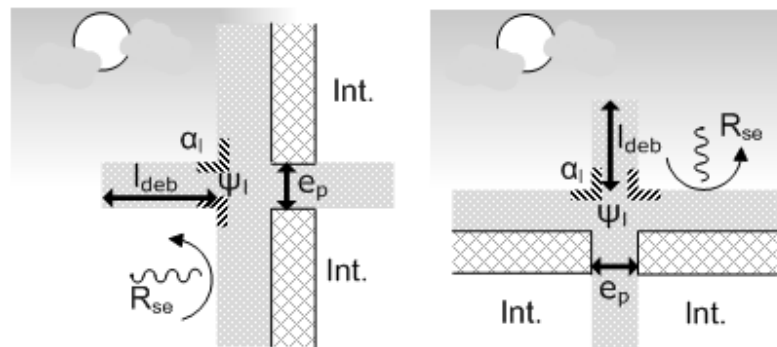


Figure 140 : ponts thermiques de liaison au droit d'un débord

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 (274).

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 :

$$\begin{aligned} S_{f-C,l} &= a_l \cdot Rat_{p\sup} \cdot \psi_{l-C} \cdot R_{se-C} \\ S_{f-E,l} &= a_l \cdot Rat_{p\sup} \cdot \psi_{l-E} \cdot R_{se-E} \end{aligned} \quad (276)$$

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) $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$.
- $Rat_{p\sup}$ 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 fascicule Th-U associé aux ponts thermiques. En l'absence d'informations, la valeur de 0,5 peut être retenue par défaut.

PONTS THERMIQUES DE LIAISON EN ANGLE RENTRANT

Le pont thermique a la configuration suivante :

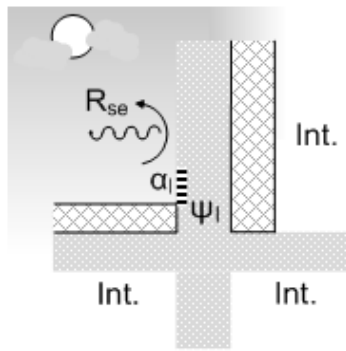


Figure 141 : pont thermique de liaison en angle rentrant

Les facteurs de transmission solaire sont calculés de manière identique à ceux d'un pont thermique au droit d'une surface plane équation (274). 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).

PAROIS ET PONTS THERMIQUES ENTERRES

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.

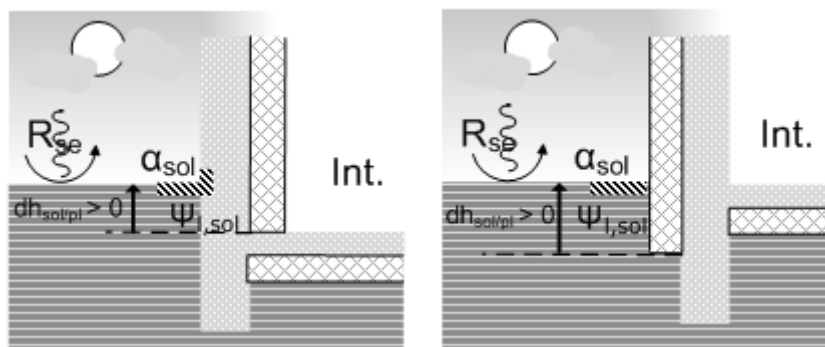


Figure 142 : paroi et pont thermique enterrés : prise en compte des apports solaires

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 :

$$S_{f-C,l} = a_{sol} \cdot \psi_{l,sol-C} \cdot R_{se-C} \quad (277)$$

$$S_{f-E,l} = a_{sol} \cdot \psi_{l,sol-E} \cdot R_{se-E}$$

- Où :
- a_{sol} est le coefficient d'absorption solaire du sol, pouvant être déterminé par défaut selon le Tableau 78,
- $\psi_{l,sol-C}$ 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 (275).

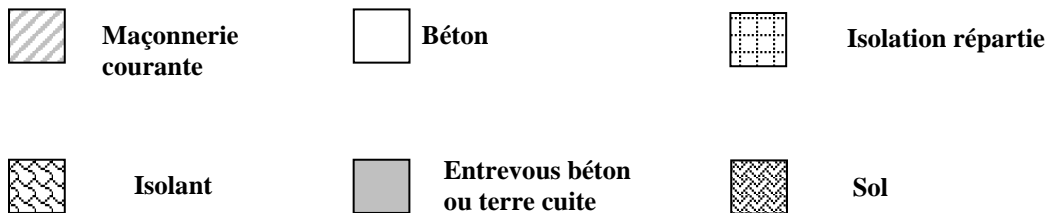
5.3 Valeurs par défauts des ponts thermiques

Parmi les détails constructifs pour lesquels des valeurs par défauts sont fournies, on distingue les liaisons entre parois acier et les liaisons entre parois maçonnées.

Les valeurs par défauts données ci-après peuvent être utilisées sans justification en l'absence d'une connaissance précise des épaisseurs des constituants de parois. Elles ont été déterminées à partir de la méthode générale de calcul détaillée au §2 sur la base d'hypothèses de calcul défavorables. Priment sur ces valeurs :

- Les valeurs calculées dans la configuration précise du pont thermique considéré, conformément à la méthode décrite au chapitre 2.
- Les valeurs qui figurent dans les avis techniques.

5.3.1 LEGENDE :



Symbole :

- e** extérieur
- i** intérieur
- lnc** local non chauffé

Note 1 - La valeur moyenne de la transmission thermique linéique sur le pourtour du plancher fait intervenir plusieurs coefficients Ψ et dépend, de la dimension du plancher, de la position des poutrelles et de leurs entraxes.

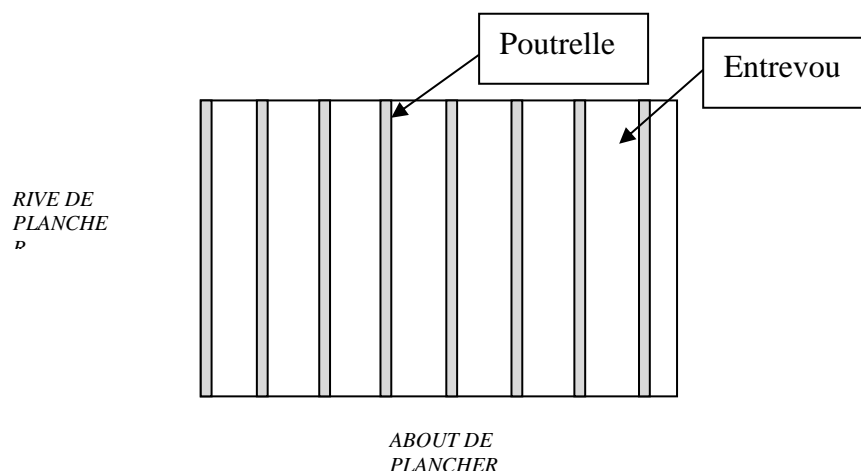


Figure 143 : Vue de dessus d'un plancher à entrevous en polystyrène

Le coefficient ψ_m du pont thermique moyen sur le pourtour du plancher se calcule selon la formule suivante :

$$\Psi_m = \frac{\psi_{about} \cdot L_{about} + \psi_{rive} \cdot L_{rive}}{L_{about} + L_{rive}} \quad \text{en W/(m.K)}$$

Où

ψ_{about} est le pont thermique situé à la liaison entre le mur recevant l'extrémité des poutrelles et le plancher, exprimé en W/(m.K).

ψ_{rive} est le pont thermique situé à la liaison entre le mur parallèle aux poutrelles et le plancher, exprimé en W/(m.K).

L_{about} est le linéaire de la liaison entre le mur recevant l'extrémité des poutrelles et le plancher, exprimé en m.

L_{rive} est le linéaire de la liaison entre le mur parallèle aux poutrelles et le plancher, exprimé en m.

En l'absence d'information précise concernant les longueurs des linéaires, le calcul du coefficient Ψ_m peut s'effectuer en admettant la convention forfaitaire de répartition à 60% de liaison en about et à 40% de liaison en rive selon la formule ci-après :

$$\Psi_m = 0,6 \cdot \psi_{about} + 0,4 \cdot \psi_{rive} \quad \text{en W/(m.K)}$$

Le coefficient ψ_{about} peut être calculé numériquement sur la base d'un modèle géométrique en 3D selon la méthode générale décrite au chapitre II du présent fascicule ou sur la base des valeurs de ponts thermiques fournies dans le présent fascicule et calculées en 2D en appliquant la pondération forfaitaire suivante :

$$\psi_{about} = \frac{1}{3} \cdot \psi_{poutrelle} + \frac{2}{3} \cdot \psi_{entrevous} \quad \text{en W/(m.K)}$$

Où

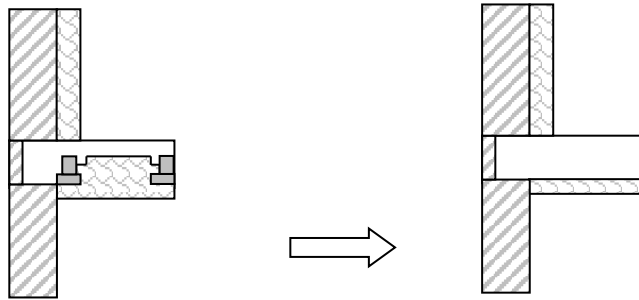
$\psi_{poutrelle}$ est la valeur du pont thermique fournie dans le présent fascicule pour une jonction avec un plancher en béton plein.

$\psi_{entrevous}$ est la valeur du pont thermique fournie dans le présent fascicule pour une jonction avec un plancher à entrevous PSE, exprimé en W/(m.K).

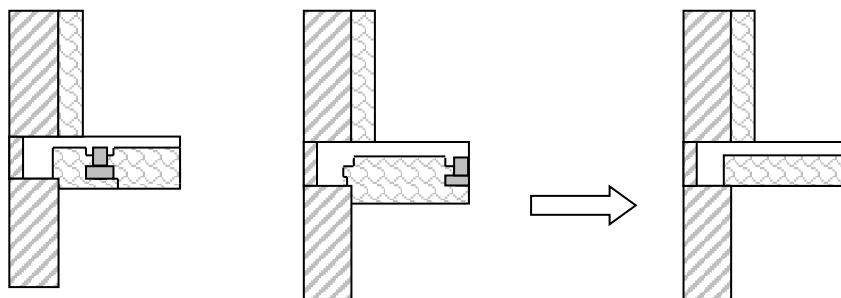
Note : Une alternative à l'utilisation des valeurs par défauts des coefficients $\psi_{poutrelle}$ et $\psi_{entrevous}$ consiste à effectuer un calcul numérique en 2D d'une coupe au niveau de la poutrelle et de l'entrevous puis d'appliquer la pondération forfaitaire pour le calcul de ψ_{about} . Dans ce cas, la coupe au niveau de la poutrelle sera choisie de manière à être sécuritaire (généralement au milieu de la poutrelle) et la coupe au niveau de l'entrevous sera prise au milieu de l'entrevous (dans la zone où la dalle de compression est la plus fine).

Le coefficient ψ_{rive} peut être calculé numériquement sur la base d'un modèle géométrique en 2D selon la méthode générale décrite au chapitre II du présent fascicule ou bien extrait des tableaux de valeurs fournis dans le présent fascicule en adoptant les conventions suivantes :

- Dans le cas d'un départ poutrelle en rive la valeur du pont thermique sera celle fournie dans le présent fascicule correspondant à une jonction avec un plancher en béton plein.



- Dans le cas d'un départ avec un demi-entreevous reposant sur le mur ou d'un entreevous complet en appui sur le mur, la valeur du pont thermique sera celle fournie dans le présent fascicule correspondant à une jonction avec un plancher à entreevous en PSE.

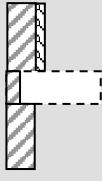
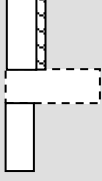
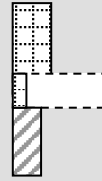
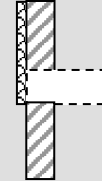
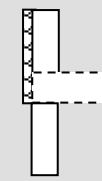
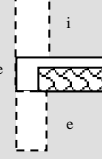
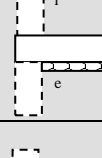
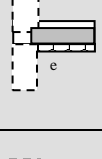
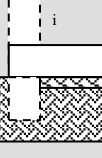
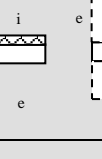
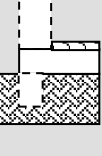


Note : l'ensemble des valeurs des ponts thermiques de plancher à entreevous PSE fournies ci-après ont été calculée sur la base d'une épaisseur de dalle de compression de 5 cm.

5.3.1.1 *Liaisons courantes avec un plancher bas*

Il s'agit de liaisons entre un plancher bas et les autres parois du bâtiment. Elles peuvent être soit des liaisons périphériques soit des liaisons intermédiaires.

5.3.1.1.1 *Liaison plancher bas/mur*

| Mur | | A | B | C | D | E | F |
|---|---|---------------------------|-------|--------------------|---------------------------|-------|--------------------------------|
| | | Isolation par l'intérieur | | Isolation répartie | Isolation par l'extérieur | | Isolation mixte ⁽¹⁾ |
| | | Maçonnerie | Béton | | Maçonnerie | Béton | |
| Plancher bas |  | | | | | | |
| |  | | | | | | |
| |  | | | | | | |
| |  | | | | | | |
| |  | | | | | | |
| Planchers bas à entrevous isolant | | | | | | | |
| 1 |  | 0,32 | 0,35 | 0,30 | 0,47 | 0,74 | 0,52 |
| Planchers bas en béton ou à entrevous béton ou terre cuite isolés en sous face | | | | | | | |
| 2 |  | 0,72 | 0,84 | 0,58 | 0,49 | 0,79 | 0,70 |
| 3 |  | 0,61 | 0,72 | 0,55 | 0,47 | 0,76 | 0,63 |
| 4 |  | 0,65 | 0,76 | 0,50 | 0,31 | 0,49 | 0,44 |
| Planchers bas en béton ou à entrevous béton ou terre cuite isolés sous chape | | | | | | | |
| 5 |  | 0,18 | 0,21 | 0,12 | 0,38 | 0,70 | 0,45 |
| 6 |  | 0,22 | 0,25 | 0,12 | 0,25 | 0,35 | 0,24 |

5.3.1.2.1 Liaison plancher bas/mur - refend

| Mur | A | | B | | C | | D | | E | | F | |
|--|---------------------------|--|--|---|---|---|--|--|-------|--|--------------------------------|--|
| | Isolation par l'intérieur | | | | Isolation répartie | | Isolation par l'extérieur | | | | Isolation mixte ⁽¹⁾ | |
| | Maçonnerie | | Béton | | | | Maçonnerie | | Béton | | Béton | |
| | e | | | | | | | | | | | |
| Plancher bas | | | | | | | | | | | | |
| Planchers bas à entrevous isolant | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | 0,45 $\Psi_1 = 0.4\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ $\Psi_3 = 0.1\Psi$ | 0,75 $\Psi_1 = 0.4\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ $\Psi_3 = 0.1\Psi$ | 0,10 $\Psi_1 = 0.45\Psi$ $\Psi_2 = 0.55\Psi$ $\Psi_3 = 0$ | 0 $\Psi_1 = 0$ $\Psi_2 = \Psi$ $\Psi_3 = 0$ | 0 $\Psi_1 = 0$ $\Psi_2 = \Psi$ $\Psi_3 = 0$ | 0,18 $\Psi_1 = 0.4\Psi$ $\Psi_2 = 0.6\Psi$ $\Psi_3 = 0$ | | | | | |
| Planchers bas en béton, ou à entrevous béton ou terre cuite isolés en sous face | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | 0,39 $\Psi_1 = 0.45\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$ $\Psi_3 = 0.10\Psi$ | 0,75 $\Psi_1 = 0.45\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$ $\Psi_3 = 0.10\Psi$ | 0,10 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ $\Psi_3 = 0$ | 0 $\Psi_1 = 0$ $\Psi_2 = \Psi$ $\Psi_3 = 0$ | 0 $\Psi_1 = 0$ $\Psi_2 = \Psi$ $\Psi_3 = 0$ | 0,16 $\Psi_1 = 0.4\Psi$ $\Psi_2 = 0.6\Psi$ $\Psi_3 = 0$ | | | | | |
| Planchers bas en béton, ou à entrevous béton ou terre cuite isolés sous chape | | | | | | | | | | | | |
| 9 (2) | | 0,70 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.6\Psi$ | 0,95 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$ | 0,70 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.6\Psi$ | 0,49 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$ | 0,57 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$ | 0,62 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$ | | | | | |
| 10 | | 0,65 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.8\Psi$ | 0,74 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.8\Psi$ | 0,65 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.8\Psi$ | 0,56 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.9\Psi$ | 0,62 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.9\Psi$ | 0,52 $\Psi_1 = 0.15\Psi$ $\Psi_2 = 0.85\Psi$ | | | | | |
| 11 (2) | | 0,61 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.6\Psi$ | 0,85 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$ | 0,61 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.6\Psi$ | 0,40 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$ | 0,45 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$ | 0,46 $\Psi_1 = 0.25\Psi$ $\Psi_2 = 0.40\Psi$ $\Psi_3 = 0.35\Psi$ | | | | | |
| 12 | | 0,46 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.8\Psi$ | 0,54 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.8\Psi$ | 0,46 $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.8\Psi$ | 0,52 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.9\Psi$ | 0,56 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.9\Psi$ | 0,53 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.9\Psi$ | | | | | |

(1) Valeurs applicables pour $\frac{1}{4} \leq \frac{R_i}{R_e} \leq \frac{2}{3}$

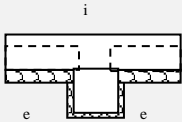
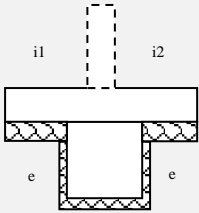
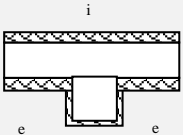
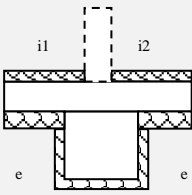
(2) Dans le cas de parois donnant sur l'extérieur, les valeurs de Ψ doivent être majorées de 30%.

5.3.1.3 Liaison plancher bas / refend

| Refend | | A | B | C |
|--|--|---|---|---|
| | | Maçonnerie | Béton | Isolation répartie |
| Plancher bas | | | | |
| Planchers bas en béton, à entrevous béton ou terre cuite isolés en sous face ou à entrevous isolant | | | | |
| 13 ⁽¹⁾ | | 0,43 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ | 0,76 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ | 0,43 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ |
| 14 | | 0,24 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ | 0,37 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ | 0,24 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ |
| Planchers bas en béton, à entrevous béton ou terre cuite isolés sous chape | | | | |
| 15 ⁽¹⁾ | | 0,49 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ | 0,80 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ | 0,12 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ |
| 16 | | 0,30 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ | 0,37 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ | 0,10 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ |
| 17 | | 0 | 0 | 0 |

(1) Dans le cas de parois donnant sur l'extérieur, les valeurs de Ψ doivent être majorées de 30%.

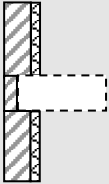
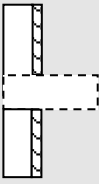
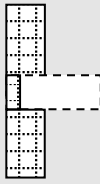
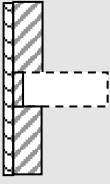
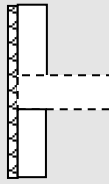
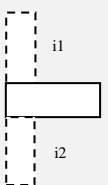
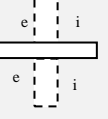
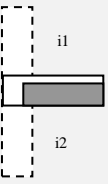
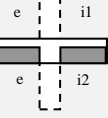

5.3.1.3.1 *liaison plancher bas/poutres à retombée isolées sur 3 faces**

| Plancher bas | | refend | A | B | C |
|---|---|--|-------|--------------------|---|
| Planchers bas en béton, à entrevous béton ou terre cuite isolés en sous face ou à entrevous isolants sans refend dans le prolongement de la poutre | | | | | |
| 18 |  | 0,86 | | | |
| Planchers bas en béton, à entrevous béton ou terre cuite isolés en sous face ou à entrevous isolants avec refend dans le prolongement de la poutre | | | | | |
| 19 |  | refend | | | |
| | | Maçonnerie courante | Béton | Isolation répartie | |
| 0,88 | | | | | |
| $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | | | | | |
| Planchers bas en béton, à entrevous béton ou terre cuite ou entrevous isolants isolés sous chape ($0,5 \leq R_{sc} \leq 1$ (m²,K)/W) et en sous face ($R_i \geq 2$ (m²,K)/W) sans refend dans le prolongement de la poutre | | | | | |
| 20 |  | 0,46 | | | |
| Planchers bas en béton, à entrevous béton ou terre cuite ou entrevous isolants isolés sous chape et en sous face avec refend dans le prolongement de la poutre | | | | | |
| 21 |  | Refend | | | |
| | | Maçonnerie courante | Béton | Isolation répartie | |
| 0,57 | | 0,61 | | 0,57 | |
| $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | | $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | | | |

*dans le cas d'une poutre à retombée sans isolation $\Psi=1,5$ W/(m.K)

5.3.1.4 Liaisons courantes avec un plancher intermédiaire

Il s'agit de liaisons entre un plancher intermédiaire et les autres parois du bâtiment. Ces liaisons ne peuvent être que des liaisons périphériques.

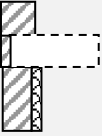
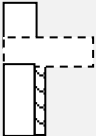
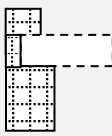

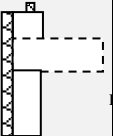
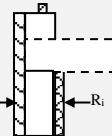
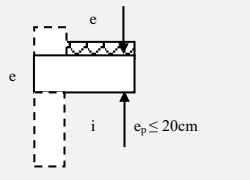
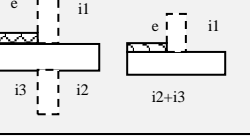
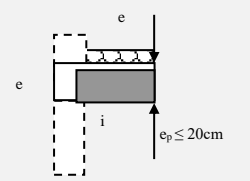
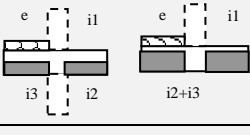
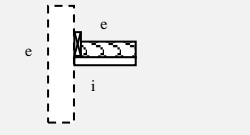
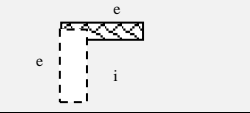
| | | A | B | C | D | E | F |
|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Mur | Isolation par l'intérieur | | Isolation répartie | Isolation par l'extérieur | | Isolation mixte ⁽¹⁾ | |
| | Maçonnerie | Béton | | Maçonnerie | Béton | | |
| | Plancher | |  |  |  |  |  |
| Béton | | | | | | | |
| 22 |  | 0,96 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 1,14 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,50 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,11 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,11 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,27 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ |
| 23 |  | 0,96 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 1,14 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,91 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,98 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 1,20 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,98 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ |
| Entrevous béton ou terre cuite | | | | | | | |
| 24 |  | 0,80 $\Psi_1 = 0.52\Psi$ $\Psi_2 = 0.48\Psi$ | 0,99 $\Psi_1 = 0.52\Psi$ $\Psi_2 = 0.48\Psi$ | 0,45 $\Psi_1 = 0.52\Psi$ $\Psi_2 = 0.48\Psi$ | 0,11 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,11 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,25 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ |
| 25 |  | 0,86 $\Psi_1 = 0.52\Psi$ $\Psi_2 = 0.48\Psi$ | 1,00 $\Psi_1 = 0.52\Psi$ $\Psi_2 = 0.48\Psi$ | 0,86 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,98 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 1,20 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,98 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ |
| Léger | | | | | | | |
| 26 |  | 0,19 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,22 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,13 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,13 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,13 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,20 $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ |

(1) Valeurs applicables pour $\frac{1}{4} \leq \frac{R_i}{R_e} \leq \frac{2}{3}$

5.3.1.5 Liaisons courantes avec un plancher haut

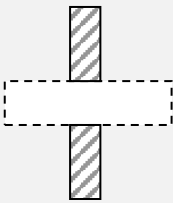
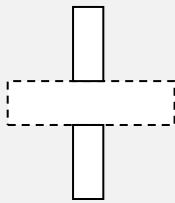
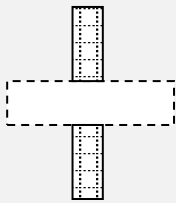
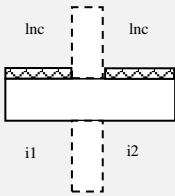
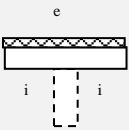
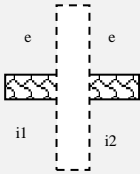
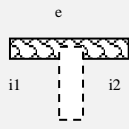
5.3.1.5.1 Liaison plancher haut/mur

Il s'agit de liaisons entre un plancher haut et les autres parois du bâtiment. Elles peuvent être soit des liaisons périphériques soit des liaisons intermédiaires.

| Mur | | A | B | C | D | E | F |
|--|---|---|---|--|---|---|---|
| | | Isolation par l'intérieur | | Isolation répartie | Isolation par l'extérieur | | Isolation mixte ⁽¹⁾ |
| | | Maçonnerie | béton | | Maçonnerie | béton | béton |
| Plancher haut | |  |  |  |  |  |  |
| Béton isolé au dessus | | | | | | | |
| 27 |  | 0,81 | 0,95 | 0,58 | 0,5 | 0,74 | 0,65 |
| 28 |  | 0,50 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.4\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$ | 0,90 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.4\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$ | 0,10 $\Psi_1 = 0\Psi$ $\Psi_2 = 0.4\Psi$ $\Psi_3 = 0.6\Psi$ | 0,03 | 0,03 | 0,18 $\Psi_1 = 0\Psi$ $\Psi_2 = 0.6\Psi$ $\Psi_3 = 0.4\Psi$ |
| Entrevous béton ou terre cuite isolés au-dessus | | | | | | | |
| 29 |  | 0,70 | 0,81 | 0,55 | 0,73 | 0,70 | 0,59 |
| 30 |  | 0,50 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.4\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$ | 0,90 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.4\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$ | 0,10 $\Psi_1 = 0\Psi$ $\Psi_2 = 0.4\Psi$ $\Psi_3 = 0.6\Psi$ | 0,03 | 0,03 | 0,18 $\Psi_1 = 0\Psi$ $\Psi_2 = 0.55\Psi$ $\Psi_3 = 0.45\Psi$ |
| Léger | | | | | | | |
| 31 |  | 0,07 | 0,08 | 0,11 | 0,31 | 0,66 | 0,36 |
| 32 |  | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,06 |

(1) Valeurs applicables pour $\frac{1}{4} \leq \frac{R_i}{R_e} \leq \frac{2}{3}$

5.3.1.5.2 Liaison plancher haut/refend

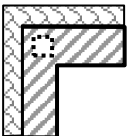
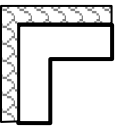
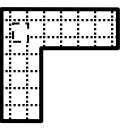
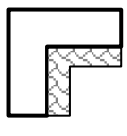
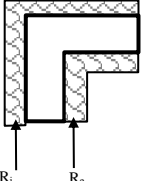
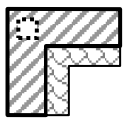
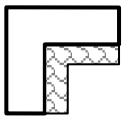
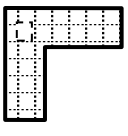
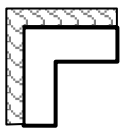
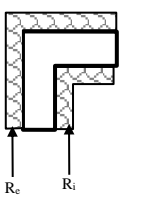
| Refend | | A | B | C |
|--|---|---|--|---|
| | | Maçonnerie | Béton | Isolation répartie |
| Plancher | |  |  |  |
| Béton, entrevous béton ou terre cuite isolé au-dessus | | | | |
| 33 ⁽¹⁾ |  | 0,42 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,87 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,10 |
| 34 |  | 0 | 0 | 0 |
| Léger | | | | |
| 35 |  | 0,38 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,88 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,15 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ |
| 36 |  | 0,05 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,05 | 0,05 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ |

⁽¹⁾ Dans le cas de parois donnant sur l'extérieur, les valeurs de Ψ doivent être majorées de 30%.

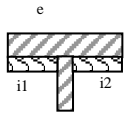
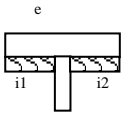
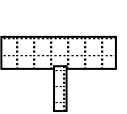
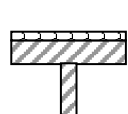
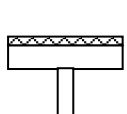
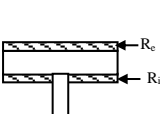
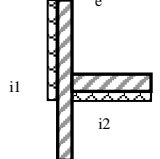
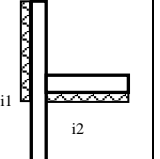
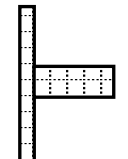
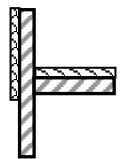
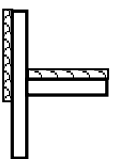
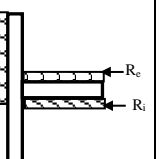
5.3.1.6 Liaisons courantes entre parois verticales

Il s'agit de liaisons mur - mur ou mur – refend.

5.3.1.6.1 Liaison Mur/mur

| Mur | | A | B | C | D | E |
|-------|------------|--|---|--|---|---|
| | | Isolation par l'intérieur | | Isolation répartie | Isolation par l'extérieur | Isolation mixte ⁽¹⁾ |
| Angle | Maçonnerie | Béton | | | | |
| 37 | Rentrant |  |  |  Avec ou sans chaînage |  |  R _i R _e |
| | | 0,18 | 0,21 | 0,10 | 0,03 | 0,07 |
| 38 | Sortant |  Avec ou sans chaînage |  |  Avec ou sans chaînage |  |  R _e R _i |
| | | 0,02 | 0,02 | 0,10 | 0,18 | 0,12 |



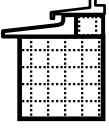

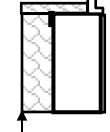
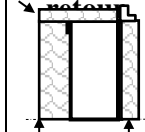
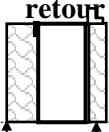
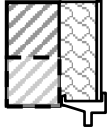

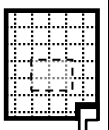
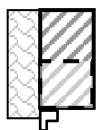
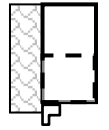

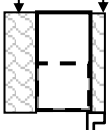
5.3.1.6.2 Liaison mur/refend

| Mur | | A | B | C | D | E | F |
|--------|------------------|--|--|---|--|---|--|
| | | Isolation par l'intérieur | | Isolation répartie | Isolation par l'extérieur | | Isolation Mixte ⁽¹⁾ |
| Refend | Maçonnerie | Béton | | | Maçonnerie | Béton | |
| 39 | Intérieur |  e, i1, i2 |  e, i1, i2 |  |  |  |  R _e , R _i |
| | | 0,41 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,99 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,11 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,08 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,11 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ | 0,21 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$ |
| 40 | Mur sur décroché |  e, i1, i2 |  e, i1, i2 |  |  |  |  R _e , R _i |
| | | 0,36 $\Psi_1 = 0.55\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$ | 0,87 $\Psi_1 = 0.55\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$ | 0,12 $\Psi_1 = 0.55\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$ | 0,36 $\Psi_1 = 0.55\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$ | 0,87 $\Psi_1 = 0.55\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$ | 0,74 $\Psi_1 = 0.55\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$ |

⁽¹⁾ Valeurs applicables pour $\frac{1}{4} \leq \frac{R_i}{R_e} \leq \frac{2}{3}$

5.3.1.7 Liaisons courantes entre menuiserie et parois opaques

Il s'agit de liaisons entre la menuiserie des fenêtres, portes, ou porte - fenêtres avec les murs, les refends ou les toitures de l'enveloppe.

| Mur Menuiserie | A | B | C | D | E | F | G |
|-----------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| | Isolation par l'intérieur | | Isolation répartie | Isolation par l'extérieur | | Isolation mixte ⁽¹⁾ | |
| | Maçonnerie | Béton | | Maçonnerie | Béton | Béton | |
| En appui | | | | | | | |
| 41 |  |  |  |  |  |  |  |
| | 0,07 | 0,06 | 0,24 | 0,25 (0,54 sans retour) | 0,42 (1,0 sans retour) | 0,19 | 0,51 |
| En tableau ou linteau | | | | | | | |
| 42 |  |  |  |  |  |  |  |
| | 0 | 0 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,14 | 0,45 |

(1) Valeurs applicables pour $\frac{1}{4} \leq \frac{R_i}{R_e} \leq \frac{2}{3}$

6. FASCICULE « INERTIE »

CHAPITRE I

6.1 Introduction

L'inertie thermique est une donnée des méthodes pour l'application des réglementations thermiques pour déterminer le besoin bioclimatique, la consommation d'énergie et apprécier l'exposition à l'inconfort thermique en période chaude d'un bâtiment ou d'une partie du bâtiment.

On distingue 3 types d'inertie thermique :

- **l'inertie quotidienne** 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** pour caractériser l'amortissement de l'onde séquentielle de température. Elle permet la prise en compte de l'inertie lors des séquences de chaleur en été. L'onde de température extérieure prise en compte de manière conventionnelle a une période de 14 jours ;
- **l'inertie annuelle** pour caractériser l'amortissement de l'onde annuelle de température (période de 365 jours).

Les présentes règles offrent à l'utilisateur trois façons de déterminer les paramètres nécessaires à la prise en compte des inerties selon le niveau de détail disponible pour le projet :

- Le chapitre 2 propose une méthode forfaitaire. Pour la mettre en œuvre il convient d'identifier les parois lourdes d'un local,
- le chapitre 3 propose une méthode de calcul qui s'appuie sur la norme NF EN ISO 13786,
- le chapitre 4 donne la méthode de détermination des points d'inertie destinée à faciliter la prise en compte de l'inertie pour des types de parois courantes. Elle permet notamment de prendre en compte des parois courantes qui sont exclues du domaine d'application de la norme du fait de leur composition et pour laquelle la méthode forfaitaire conduit à une approche trop conservatrice.

6.1.1 *LES COEFFICIENTS DE L'INERTIE THERMIQUE*

Ils dépendent des caractéristiques des parois. Ils permettent de quantifier les impacts de l'inertie quotidienne, séquentielle et annuelle d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment. L'inertie de chaque période est caractérisée par deux paramètres :

- la capacité thermique surfacique exprimée en $\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K})$, notée $C_{\text{m_surf}}$,
- la surface d'échange équivalente exprimée en m^2/m^2 , notée $A_{\text{m_surf}}$, qui permet une agrégation des capacités thermiques intrinsèques des parois à travers leur surface active.

Les présentes règles permettent d'accéder à ces paramètres soit à partir du calcul soit en déterminant la classe d'inertie du bâtiment considéré. Ils sont utilisés comme données d'entrée dans les méthodes pour l'application des réglementations thermiques. Ainsi pour effectuer les calculs réglementaires il est nécessaire, pour l'utilisateur, de renseigner les paramètres suivants :

| Inertie | Paramètre | Définition (unité) |
|--------------|----------------|---|
| Quotidienne | C_{mq_surf} | Capacité thermique quotidienne ramenée à la surface utile du bâtiment considéré (kJ/(m ² K)) |
| | A_{mq_surf} | Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré au sens de l'inertie quotidienne (m ² /m ²) |
| Séquentielle | C_{ms_surf} | Capacité thermique séquentielle ramenée à la surface utile du bâtiment considéré (kJ/(m ² K)) |
| | A_{ms_surf} | Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré au sens de l'inertie séquentielle (m ² /m ²) |
| Annuelle | C_{ma_surf} | Capacité thermique quotidienne ramenée à la surface utile du bâtiment considéré (kJ/(m ² K)) |
| | A_{ma_surf} | Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré au sens de l'inertie annuelle (m ² /m ²) |

Tableau 80 : Résultats d'application de la méthode inertie

Remarque :

Les valeurs de C_{mq_surf} , C_{ms_surf} , C_{ma_surf} et de A_{mq_surf} , A_{ms_surf} , A_{ma_surf} viennent renseigner les méthodes où elles seront multipliées à $A_{bât}$, la surface utile du bâtiment ou d'une partie de bâtiment, exprimée en m². Les produits des valeurs surfaciques avec la surface utile sont appelés respectivement C_{mq} , C_{ms} , C_{ma} et A_{mq} , A_{ms} , A_{mq} variables internes des méthodes d'application des réglementations thermiques.

6.1.2 REFERENCES NORMATIVES

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

Normes de calculs

NF EN ISO 13786 Performance thermique des composants de bâtiment-caractéristiques thermiques dynamiques méthodes de calcul.

NF EN ISO 6946 Composants et parois de bâtiments Résistance thermique et coefficient de transmission thermique Méthode de calcul.

Normes produits

NF P 13304 Briques en terre cuite destinées à rester apparentes.

NF EN 771-3 Spécifications pour éléments de maçonnerie —Partie 3 : Éléments de maçonnerie en béton de granulats (granulats courants et légers)

Au préalable, la position du texte, par rapport au panorama normatif et aux méthodes d'application des réglementations thermiques, est rappelée. Cette articulation des textes est la

conséquence de la représentation simplifiée, des phénomènes physiques mis en jeu lors d'un transfert de chaleur dans une ambiance, qui superpose un état stationnaire et un correctif dynamique. Selon le même principe, les méthodes réglementaires actuelles sont une représentation simplifiée des phénomènes de transferts de chaleur mis en jeu dans un bâtiment. Elle distingue les échanges de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur et leurs interactions avec l'ambiance selon que :

- Les échanges se font directement par transfert de masse entre l'intérieur et l'extérieur ou avec les autres locaux en contact aéraulique.
- Les échanges se font par convection, conduction et rayonnement à travers les parois transparentes selon un régime établi sur le pas de temps utilisé, en l'occurrence une heure. Dans ce cas les sollicitations thermiques de la paroi ont des variations plus lentes que l'établissement d'un flux de chaleur constant dans la paroi séparant deux ambiances. Le régime est considéré établi.
- Les échanges par les parois opaques se font par convection, conduction et rayonnement selon un régime transitoire. Il convient donc d'intégrer une variation dynamique du flux de chaleur en fonction du temps qui vient corriger le calcul en régime établi.

Chaque paroi, selon ses caractéristiques physiques et géométriques, va réagir plus ou moins rapidement à une variation des conditions thermiques de l'ambiance ou de l'environnement avec lesquels elle est en contact. Pour tenir compte des réactions de la paroi à des sollicitations thermiques de fréquences quotidiennes, séquentielles et annuelles, il convient de déterminer ces caractéristiques thermiques dynamiques.

L'approche des règles Th-Bat méthode inertie 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 kilogramme (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. L'approche par points d'inertie, présentée à la fin de ce document, a été bâtie avec ces éléments, pour offrir une méthode simple d'emploi et adaptée à la conception pour les parois les plus courantes.

Cependant cette norme est relative à une paroi alors que dans le cadre réglementaire l'inertie est calculée à l'échelle du bâtiment ou d'une partie du bâtiment. Les présentes règles proposent, d'une part, des valeurs et des méthodes pour déterminer la surface d'échange équivalente des parois opaques de la partie de bâtiment considérée, d'autre part, les capacités thermiques surfaciques, qui sont le résultat de l'application de cette norme. Pour obtenir cette dernière valeur, la norme NF EN ISO 13786 a été appliquée en considérant certaines hypothèses :

- les effets de la résistance d'échange superficielle intérieure ne sont pas à prendre en compte car ils sont déjà intégrés dans les méthodes d'application des réglementations thermiques ;
- la méthode simplifiée proposée en annexe A normative est utilisée ;
- 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 des méthodes d'application des réglementations thermiques.

L'inertie d'un ensemble de locaux est celle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne. Un niveau est plus défavorisé qu'un autre si la classe d'inertie est plus faible.

6.1.3 NOMENCLATURE

| Nom | Unité | Description |
|----------------------------|------------------------------------|---|
| A | m² | Surface de paroi, déduction faite des baies |
| A_{bât} | m² | Surface utile du bâtiment ou de la partie de bâtiment considérée |
| A_{loc} | m² | Taille moyenne des locaux définie de manière implicite |
| A_{niv} | m² | Surface utile du niveau étudié |
| A_{ma} | m² | Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance au sens de l'inertie annuelle |
| A_{mq} | m² | Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance au sens de l'inertie quotidienne |
| A_{ms} | m² | Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance au sens de l'inertie séquentielle |
| A_{ma_surf} | m²/m² | Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré au sens de l'inertie annuelle |
| A_{mq_surf} | m²/m² | Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré au sens de l'inertie quotidienne |
| A_{ms_surf} | m²/m² | Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré au sens de l'inertie séquentielle |
| A_{m_surf} | m²/m² | Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment ; paramètre générique prend une valeur concrète dès lors qu'on lui ajoute un indice a, q ou s respectivement pour annuelle, quotidienne ou séquentielle |
| C_{ma} | kJ/K | Capacité thermique annuelle du groupe |
| C_{mq} | kJ/K | Capacité thermique quotidienne du groupe |
| C_{ms} | kJ/K | Capacité thermique séquentielle du groupe |
| C_{ma_surf} | kJ/(m²K) | Capacité thermique annuelle ramenée à la surface utile du bâtiment considéré |
| C_{mq_surf} | kJ/(m²K) | Capacité thermique quotidienne ramenée à la surface utile du bâtiment considéré |
| C_{ms_surf} | kJ/(m²K) | Capacité thermique séquentielle ramenée à la surface utile du bâtiment considéré |
| C_{m_surf} | kJ/(m²K) | Capacité thermique ramenée à la surface utile du bâtiment considéré ; paramètre générique prend une valeur concrète dès lors qu'on lui ajoute un indice a, q ou s respectivement pour annuelle, quotidienne ou séquentielle |
| E | cm | Epaisseur de béton plein comptée par l'intérieur jusqu'à une couche isolante |
| R_{inf} | m².K/W | Résistance thermique limite en dessous de laquelle les revêtements sont considérés comme sans effet thermique |
| χ_a | kJ/(m².K) | Capacité thermique surfacique annuelle de la paroi |
| χ_j | kJ/(m².K) | Capacité thermique surfacique quotidienne de la paroi |
| χ_s | kJ/(m².K) | Capacité thermique surfacique séquentielle de la paroi |

Tableau 81 : Nomenclature

6.1.4 DEFINITIONS

Les définitions suivantes sont applicables à l'ensemble de ce document :

- La **surface utile** d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment est la surface habitable pour les logements et la surface utile, au sens de l'annexe I du présent arrêté, 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'agrégats lourds de masse volumique supérieure à 1800 kg/m³. De même un mur en « **béton plein** » est un mur constitué de béton banché, de bloc de béton, ou de panneaux préfabriqués en béton, à base d'agrégats lourds de masse volumique supérieure à 1800 kg/m³.
- Un bloc de « **béton perforé** » est un bloc de béton conforme à la norme NF EN 771-3 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 13304 présentant moins de 20% 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 ou égale à 0,02 m².K/W (pour les apprécier, les valeurs tabulées définies dans les règles Th-bât fascicule matériaux peuvent être utilisées).
- 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 ($R_{inf} \leq 0.02$ m².K/W) sont considérés comme sans effet thermique.

Une **lame d'air ventilée en faux plafond** est définie selon la norme NF EN ISO 6946 :

| Type de lame d'air en faux plafond | Surface d'ouverture libre |
|--|--|
| Lame d'air non ventilée | <ul style="list-style-type: none">• inférieure à 500 mm² par m² de superficie |
| Lame d'air faiblement ventilée | <ul style="list-style-type: none">• comprise entre 500 mm² et 1500 mm² d'ouverture par m² de superficie |
| Lame d'air moyennement ou fortement ventilée | <ul style="list-style-type: none">• supérieure à 1500 mm² par m² de superficie |

Tableau 82 : Définition du type de lame d'air en faux plafond

6.1.5 LIEN AUX AUTRES FASCICULES

Pour appliquer les présentes règles, en particulier la méthode détaillée, il est nécessaire de connaître les la conductivité thermique, la masse volumique et la capacité thermique massique des matériaux. En l'absence d'une connaissance précise de ces caractéristiques, les valeurs par défauts données dans les règles Th-Bat fascicule matériaux peuvent être utilisées.

CHAPITRE II

6.2 La méthode forfaitaire

Pour la partie de bâtiment considérée, la méthode forfaitaire consiste à :

- Pour chaque niveau de la partie de bâtiment considérée, identifier les parois lourdes en fonction des matériaux qui les composent et de leur position.
- Déterminer la classe d'inertie de chaque niveau en fonction du nombre de parois lourdes affectées au niveau considéré.
- Retenir pour un bâtiment ou une partie de bâtiment comportant plusieurs niveaux, la classe d'inertie du niveau le plus défavorisé.
- Relever les valeurs de C_{m_surf} et A_{m_surf} affectées à la classe d'inertie précédemment déterminée.

6.2.1 DETERMINATION FORFAITAIRE DE LA CLASSE D'INERTIE QUOTIDIENNE

La classe d'inertie quotidienne d'un niveau de bâtiment est déterminée directement à partir du tableau suivant :

| 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 83 : Détermination forfaitaire de la classe d'inertie d'un niveau de 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 à l'inertie du bâtiment. De même, l'inertie du mobilier est aussi prise en compte implicitement.

En utilisant les définitions suivantes :

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, déterminés selon la méthode présentée §6.4.1.

(*): Ne sont considérés que les faux plafonds possédant une lame d'air non ventilée ou faiblement ventilée (moins de 1500 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 lourds (béton, terre cuite), sur béton cellulaire armé ou sur dalles alvéolées en béton.
 - ◇ Dalle de béton ou chape de 5 cm ou plus sur entrevous en matériau isolant ou sur un matériau isolant.
- Tout plancher ayant 5 points d'inertie ou plus pour sa face supérieure déterminés selon la méthode présentée §6.4.1.

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,
 - ◇ blocs 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 dont la somme de leurs points est supérieure ou égale à 7 points d'inertie déterminés selon la méthode présentée §6.4.1.

Détermination de C_{mq_surf} et de A_{mq_surf}

La capacité thermique quotidienne, C_{mq_surf} , et la surface d'échange avec l'ambiance, A_{mq_surf} , sont déterminées dans le Tableau 84 :

| CLASSE QUOTIDIENNE | D'INERTIE Capacité quotidienne C_{mq_surf} (kJ/(K.m ²)) | Surface d'échange A_{mq_surf} (m ² /m ²) |
|--------------------|--|--|
| • très légère | 80 | 2,5 |
| • moyenne | 165 | 2,5 |
| • lourde | 260 | 3,0 |
| • très lourde | 370 | 3,5 |

Tableau 84 : Détermination de C_{mq_surf} et de A_{mq_surf} comme valeur d'entrée des méthodes d'application des réglementations thermiques

6.2.2 DETERMINATION FORFAITAIRE DE LA CLASSE D'INERTIE SEQUENTIELLE

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. Elle peut être déterminée de façon forfaitaire selon la présence ou non de parois lourdes au sens de l'inertie séquentielle à partir des conditions qui suivent. La définition d'une paroi lourde au titre de l'inertie séquentielle figure ci-après. Elle ne doit pas être confondue avec une inertie lourde au titre de l'inertie quotidienne décrite dans le paragraphe 6.2.1.

1. Si la partie de bâtiment considérée ne dispose pas de parois lourdes au titre de l'inertie séquentielle, la classe d'inertie séquentielle est déterminée directement à partir du Tableau 85 en fonction du nombre de parois lourdes au titre de l'inertie quotidienne :

| CONDITIONS NECESSAIRES | Classe d'inertie séquentielle |
|---|-------------------------------|
| • pas de paroi lourde au titre de l'inertie quotidienne | très légère |
| • une paroi lourde par niveau au titre de l'inertie quotidienne | très légère |
| • deux parois lourdes par niveau au titre de l'inertie quotidienne | légère |
| • trois parois lourdes par niveau au titre de l'inertie quotidienne | moyenne |

Tableau 85 : Détermination forfaitaire de la classe d'inertie séquentielle pour un niveau de bâtiment en fonction du nombre de parois lourdes au titre de l'inertie quotidienne

Une paroi lourde au titre de l'inertie quotidienne est un « plancher lourd », ou une « paroi verticale lourde », définie et déterminée selon les modalités décrite précédemment pour l'inertie quotidienne au paragraphe 6.2.1 de ce fascicule.

2. Si la partie de bâtiment considérée dispose de parois lourdes au titre de l'inertie séquentielle, il est possible de déterminer la classe d'inertie séquentielle à partir du Tableau 86 en fonction du nombre de parois lourdes au titre de l'inertie séquentielle.

| CONDITIONS NECESSAIRES | Classe d'inertie séquentielle |
|--|-------------------------------|
| • pas de paroi lourde au titre de l'inertie séquentielle : | voir Tableau 85 |
| • une paroi lourde par niveau au titre de l'inertie séquentielle | légère |
| • deux parois lourdes par niveau au titre de l'inertie séquentielle | moyenne |
| • trois parois lourdes par niveau au titre de l'inertie séquentielle | lourde |

Tableau 86 : Détermination forfaitaire de la classe d'inertie séquentielle pour un niveau de bâtiment en fonction du nombre de parois lourdes au titre de l'inertie séquentielle

Une paroi lourde au titre de l'inertie séquentielle est définie de la façon suivante :

Définition du « plancher haut lourd » pour l'inertie séquentielle :

- Plancher haut en béton plein isolé par l'extérieur avec à l'intérieur au moins 20 cm de béton.
- Tout plancher ayant 5 points supplémentaires au titre de d'inertie séquentielle ou plus pour sa face inférieure, déterminés selon la méthode présentée §6.4.2 .

Définition du « plancher bas lourd » pour l'inertie séquentielle :

- Plancher sur terre-plein avec isolant périphérique.
- Plancher en béton plein de 20 cm et plus isolé en sous-face.
- Tout plancher ayant 5 points supplémentaires au titre de l'inertie séquentielle ou plus pour sa face supérieure, déterminés selon la méthode présentée §6.4.2.

Définition d'une « paroi verticale lourde » pour l'inertie séquentielle :

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* de 16 cm ou plus,
- Murs extérieurs à isolation répartie en brique de terre cuite à perforations verticales de 30 cm ou plus.

Détermination de C_{ms_surf} et de A_{ms_surf}

La capacité thermique séquentielle, C_{ms_surf} , exprimée en kJ/m^2 , et la surface d'échange avec l'ambiance, A_{ms_surf} , sont déterminées par la classe d'inertie séquentielle selon le Tableau 87 :

| CLASSE D'INERTIE SEQUENTIELLE | Capacité séquentielle C_{ms_surf} (kJ/(K.m ²)) | Surface d'échange A_{ms_surf} (m ² /m ²) |
|------------------------------------|--|---|
| • indéterminée (valeur par défaut) | $C_{ms_surf} = C_{mq_surf}$ | $A_{ms_surf} = A_{mq_surf}$ |
| • très légère | $C_{ms_surf} = C_{mq_surf}$ | $A_{ms_surf} = A_{mq_surf}$ |
| • légère | 260 | 2 |
| • moyenne | 500 | 2,5 |
| • lourde | 850 | 3 |

Tableau 87 : Détermination de C_{ms_surf} et d' A_{ms_surf} comme valeurs d'entrée des méthodes d'application des réglementations thermiques

6.2.3 DETERMINATION FORFAITAIRE DE LA CLASSE D'INERTIE ANNUELLE

L'inertie annuelle d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment est l'inertie annuelle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne.

La classe d'inertie annuelle est déterminée directement à partir du Tableau 88 :

| CONDITIONS NECESSAIRES | Classe d'inertie annuelle |
|--|---------------------------|
| • Le plancher bas est en contact direct avec le sol ; il s'agit soit d'un terre-plein non isolé ou isolé en périphérie | Moyenne |
| • Autres situations | Très légère |

Tableau 88 : Détermination forfaitaire de la classe d'inertie séquentielle

En contact avec le sol signifie que la paroi est en contact avec une paroi de 1,3 mètre d'épaisseur et plus en terre ou 2 m en béton plein.

Détermination de C_{ma_surf} et de A_{ma_surf}

La capacité thermique annuelle, C_{ma_surf} , exprimée en kJ/m², et la surface d'échange avec l'ambiance, A_{ma_surf} , sont déterminées par la classe d'inertie séquentielle selon le Tableau 89 :

| CLASSE D'INERTIE ANNUELLE | Capacité annuelle C_{ma_surf} (kJ/(K.m ²)) | Surface d'échange A_{ma_surf} (m ² /m ²) |
|------------------------------------|--|---|
| • indéterminée (valeur par défaut) | $C_{ma_surf} = C_{ms_surf}$ | $A_{ma_surf} = A_{ms_surf}$ |
| • très légère | $C_{ma_surf} = C_{ms_surf}$ | $A_{ma_surf} = A_{ms_surf}$ |
| • moyenne | 6000 | 1 |

Tableau 89 : Détermination de C_{ma_surf} et d' A_{ma_surf} comme valeurs d'entrée des méthodes d'application des réglementations thermiques

CHAPITRE III

6.3 Détermination de l'inertie par le calcul

Pour la partie de bâtiment considérée, la méthode détaillée consiste à :

- Déterminer χ la capacité thermique surfacique de chaque paroi par application de la norme NF EN ISO 13786,
- Déterminer $C_{m_surf} = C_m/A_{niv}$ la capacité thermique surfacique de chaque niveau,
- Déterminer A_m la surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance pour chaque niveau,
- Retenir comme capacité thermique surfacique, C_{m_surf} , et comme surface d'échange équivalente, A_{m_surf} , les valeurs calculées qui correspondent au niveau qui a la classe d'inertie la plus légère du point de vue inertie quotidienne.

6.3.1 DETERMINATION DE LA CAPACITE THERMIQUE SURFACIQUE

La norme NF EN ISO 13 786 propose deux façons de calculer la capacité thermique surfacique, d'une part, une version détaillée décrite dans le corps de la norme, d'autre part, une version simplifiée décrite en Annexe A. Pour conduire les calculs dans les deux méthodes, quelques précisions ou compléments par rapport à la norme NF EN ISO 13786 ont été apportés pour s'assurer d'une bonne articulation entre la norme et le bilan thermique dynamique inclus dans les méthodes d'application des réglementations thermiques.

résistances d'échanges superficielles :

Compte tenu du modèle simplifié utilisé dans les méthodes d'application des réglementations thermiques, les résistances d'échanges superficielles entre la paroi et l'ambiance ne doivent pas être prises en compte.

Faux plafonds ou planchers techniques :

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 NF EN ISO 6946. 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 1500 mm² d'ouverture par m² de superficie et de faux plafonds fortement ventilés dans le dernier cas.

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 :

$$Rg = \frac{1}{ha + \frac{1}{2} \cdot E \cdot h_{ro} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2}} - \frac{d}{b} \right)}$$

Les valeurs obtenues avec le calcul simplifié (annexe A de la norme, avec les compléments de la présente méthode §6.3.1.1) 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.

6.3.1.1 *calcul simplifié de la capacité thermique*

la méthode simplifiée est décrite dans la norme NF EN ISO 13 786 annexe A. Pour son application quelques conventions spécifiques doivent être appliquées. La détermination de l'épaisseur efficace est également étendue en précisant les liens avec les autres fascicules des règles Th-Bât. Finalement le correctif relatif aux parois interne est précisé.

6.3.1.1.1 **conventions et définitions**

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/m² 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. Il convient de prendre en compte l'effet thermique comme une résistance additionnelle selon le paragraphe A3 de l'annexe A de la norme NF EN ISO 13786.

Couche isolante :

Une couche est dite isolante si sa conductivité thermique est inférieure à 0,065 W/m.K et si sa résistance thermique est supérieure à 0,5 m².K/W.

6.3.1.1.2 **Détermination de l'épaisseur efficace maximale**

L'inertie d'une période donnée, utilisée pour caractériser l'amortissement de l'onde de température, est déterminée pour la période considérée. Dans l'annexe A de la norme NF EN ISO 13786, il y a des valeurs définies de l'épaisseur efficace maximale pour différentes périodes.

Elles sont calculées en conservant une valeur de la diffusivité thermique de $\alpha = 0,7 \times 10^{-6}$ m²/s donnée par la norme. Néanmoins pour un calcul plus fin, il est possible de déterminer cette épaisseur efficace maximale en tenant compte des caractéristiques effectives du matériau pour chaque période, T, considérée exprimée en seconde. A défaut d'une connaissance précise de ces valeurs, les valeurs, en m².s⁻¹, à prendre sont celles figurant dans les règles Th-Bât fascicule matériaux.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho C}$$

La détermination de cette épaisseur efficace maximale se fait alors en appliquant la formule suivante :

$$d_{T \max} = \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot \sqrt{\frac{\lambda \cdot T}{\pi \cdot \rho \cdot C}} = \sqrt{\frac{\alpha \cdot T}{2 \cdot \pi}}$$

Valeur de l'épaisseur efficace maximale :

- Pour l'inertie quotidienne, la valeur retenue est soit la valeur donnée par la norme soit la valeur calculée selon la formule précédente à partir des caractéristiques du matériau pour une période T de 24 h soit 86400 secondes.
- Pour l'inertie séquentielle, utilisée pour caractériser l'amortissement de l'onde séquentielle de température en saison chaude, la norme ne propose pas de valeur définie de l'épaisseur efficace pour cette période de 14 jours. En conservant la valeur de la diffusivité thermique de la norme, l'épaisseur efficace pour 14 jours est de 38 cm. Cette valeur peut être retenue pour l'épaisseur efficace. Il est également possible de la calculer à partir de la formule précédente à l'aide des caractéristiques du matériau pour une période T de 14 jours soit 1209600 secondes .
- Pour l'inertie annuelle, utilisée pour caractériser l'amortissement de l'onde annuelle de température, la norme ne propose 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 365 jours est de 190 cm. Cette valeur peut être retenue pour l'épaisseur efficace. Il est également possible de la calculer à partir de la formule précédente à l'aide des caractéristiques du matériau pour une période de 365 jours soit 31536000 secondes.

6.3.1.1.3 *Détermination de la capacité d'une paroi*

La méthode simplifiée de la norme s'applique pour les parois composées d'une ou plusieurs couches. Toutes les couches homogènes comprises entre la surface en contact avec l'ambiance jusqu'à la surface de la première couche isolante sont considérées. Pour chaque couche l'épaisseur sollicitée par l'onde de chaleur périodique est déterminée selon l'approximation de la couche mince, du milieu semi-infini ou de la méthode de l'épaisseur efficace conformément à la norme.

Pour la méthode de l'épaisseur efficace, il convient de compléter de la façon suivante la norme :

L'épaisseur efficace d'un composant est la plus petite des valeurs suivantes :

- a la moitié de l'épaisseur totale du composant s'il est situé, quel que soit son inclinaison, entre deux ambiances à la même température, ou s'il ne possède pas de couche isolante sinon son épaisseur totale ;
- b l'épaisseur des matériaux compris entre la face considérée et la première couche isolante, sans tenir compte des revêtements qui ne font pas partie du composant ;
- c une épaisseur efficace maximale, fonction de la période de variation. La valeur de l'épaisseur efficace proposée par défaut dans la norme en fonction de la période des variations, peut être calculée par la formule du paragraphe précédent pour déterminer $d_{T \max}$.

Dans le cas particulier où la totalité de la première couche homogène, non isolante, est sollicitée par l'onde de chaleur, alors la seconde couche homogène, non isolante, accumule également de la chaleur. Il convient donc d'ajouter la capacité de cette seconde couche à celle de la première couche homogène.

Pour cela, l'épaisseur de la seconde couche sollicitée par l'onde de chaleur périodique doit être

déterminée. Si la valeur de la diffusivité $\alpha = 0,7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ proposée dans la norme est retenue alors la capacité de chaque couche entre l'ambiance et la première couche isolante est utilisée comme stipulé dans la norme.

Si le choix de travailler avec la diffusivité spécifique des deux premières couches alors la procédure est la suivante :

- Il convient de déterminer l'épaisseur $d_{T \max_2}$ calculée avec les caractéristiques du matériau composant cette deuxième couche.
- Retrancher à cette valeur de $d_{T \max_2}$ l'épaisseur de la première couche e_1
- L'épaisseur à retenir est la valeur minimale entre l'épaisseur effective, e_2 , de la deuxième couche et la valeur $d_{T \max_2}$ à laquelle l'épaisseur de la première couche, e_1 , a été retranchée. Autrement dit $\text{Min}(e_2 ; d_{T \max_2} - e_1)$. L'épaisseur ne peut être négative.

Une fois cette épaisseur utile pour l'inertie déterminée pour la deuxième couche, il est alors possible de déterminer le complément de capacité dû à la deuxième couche.

Dans le cas où la deuxième couche homogène serait entièrement sollicitée et qu'une troisième couche non isolante peut contribuer à la capacité thermique, alors il convient, au choix :

- de revenir au calcul simplifié en calculant l'épaisseur efficace maximale avec la diffusivité proposée par la norme $\alpha = 0,7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.
- d'utiliser la méthode détaillée de la norme.

Dans le cas particulier, d'une paroi entièrement située dans l'ambiance thermique il convient de calculer pour chaque face la capacité des couches homogènes entre l'ambiance et la première couche isolante. Si la paroi ne contient pas de couche isolante, il convient de calculer la capacité de chaque face en considérant la demi épaisseur de la paroi.

6.3.1.2 *calcul détaillé de la capacité thermique*

La capacité thermique surfacique peut également être calculée par la méthode détaillée dans le corps principal de la norme pour les inerties :

- Quotidienne avec une période de 86400 secondes,
- Séquentielle avec une période de 1209600 secondes,
- Annuelle avec une période de 31 536 000 secondes.

Les résistances d'échange superficielles ne doivent pas être prises en compte.

Dans le cas particulier d'une paroi entièrement située dans l'ambiance thermique chaque face doit être considérée.

6.3.2 DETERMINATION DE L'INERTIE QUOTIDIENNE PAR LE CALCUL

A partir de la capacité thermique surfacique et de la surface de chaque paroi les deux paramètres qui caractérisent l'inertie thermique quotidienne d'un niveau de bâtiment sont calculés. Il s'agit de :

- La capacité thermique du niveau étudié pour une onde de 24 h (C_{mq}) ;
- La surface d'échange équivalente des parois lourdes avec l'ambiance (A_{mq}) :

| | |
|--|---------------------------------|
| $C_{mq} = \sum A_i \times \chi_{ji}(\text{kJ/K})$ | (formule 278) |
| $A_{mq} = (\sum A_i \times \chi_{ji})^2 / (\sum A_i \times \chi_{ji}^2)$ | (m ²) (formule 279) |

avec :

A_i (m²) est la surface de la paroi i du niveau étudié du bâtiment ;

A_{niv} (m²) est la surface utile du niveau étudié du bâtiment ;

χ_{ji} (kJ/m²°K) est la capacité thermique surfacique de la paroi i pour une période de 24 heures (j = indice de période journalière) calculée selon la norme NF EN ISO 13786 avec les conditions spécifiques décrites au §6.3.1.1 .

Pour les parois entièrement situées dans l'ambiance la surface de chaque face est à considérer avec la capacité thermique surfacique afférente à chaque face calculée au §6.3.1. Si la paroi sépare deux niveaux, à l'instar d'un plancher intermédiaire, la capacité et la surface de :

- la face supérieure contribuent au calcul de l'inertie du niveau au-dessus du plancher
- la face inférieure contribuent au calcul de l'inertie du niveau en dessous du plancher.

L'inertie quotidienne du mobilier est prise en compte de manière forfaitaire à 20 kJ/K par m² de sol dans le cas général (habitation, hébergement, bureau, ..) et à 0 kJ/K par m² de sol pour les bâtiments à usage sportif. La surface du mobilier n'est pas prise en compte.

Si l'ensemble de locaux, pour lequel l'inertie est recherchée, dispose de plusieurs niveaux alors l'inertie du niveau le plus défavorisé d'un point de vue de l'inertie quotidienne doit être retenue. Dès lors, il convient de retenir le couple de valeurs calculées (C_{mq_surf} ; A_{mq_surf}) du niveau qui conduit à la classe d'inertie la plus faible.

Le tableau suivant permet de déterminer la classe d'inertie d'un niveau en fonction des valeurs calculées du (C_{mq_surf} ; A_{mq_surf}) :

| I_{nq} A_{mq} / A_{niv} | C_{mq}/A_{niv} (kJ/m ² K) | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| | 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 90 : classe d'inertie quotidienne d'un niveau de bâtiment déterminée par le calcul

6.3.3 DETERMINATION DE L'INERTIE SEQUENTIELLE PAR LE CALCUL

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.

La capacité thermique séquentielle, C_{ms_surf} , d'un niveau de bâtiment, ou d'une zone thermique, est déterminée sur la base des capacités thermiques séquentielles des parois (χ_{si} avec i indice de paroi) calculées selon la norme NF EN ISO 13786 et des surfaces de ces parois.

| | | |
|--|-------------------|---------------|
| $C_{ms} = \sum A_i \times \chi_{si}$ | (kJ/K) | (formule 280) |
| $A_{ms} = (\sum A_i \times (\chi_{si} - \chi_{ji}))^2 / (\sum A_i \times (\chi_{si} - \chi_{ji})^2)$ | (m ²) | (formule 281) |

où :

A_i (m²) est la surface de la paroi i ;

A_{niv} (m²) est la surface utile du niveau considéré du bâtiment (ou de la zone) ;

χ_{si} (kJ/m².K) est la capacité thermique surfacique de la paroi i pour une période de 14 jours (s = indice de période séquentielle) calculée selon la norme NF EN ISO 13786 avec les conditions spécifiques décrites au §6.3.1.1.

χ_{ji} (kJ/m²°K) est la capacité thermique surfacique de la paroi i pour une période de 24 heures (j = indice de période journalière) calculée précédemment.

Le mobilier est pris en compte de manière forfaitaire à 20 kJ/K par m² de sol dans le cas général (habitation, hébergement, bureau, ...) et à 0 kJ/K par m² de sol pour les bâtiments à usage sportif.

Pour les parois entièrement situées dans l'ambiance la surface de chaque face est à considérer avec la capacité thermique surfacique afférente à chaque face calculée au §6.3.1. Si la paroi sépare deux niveaux, à l'instar d'un plancher intermédiaire, la capacité et la surface de :

- la face supérieure contribuent au calcul de l'inertie du niveau au-dessus du plancher
- la face inférieure contribuent au calcul de l'inertie du niveau en dessous du plancher.

6.3.4 DETERMINATION DE L'INERTIE ANNUELLE PAR LE CALCUL

L'inertie annuelle d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment est l'inertie annuelle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne.

La capacité thermique annuelle, C_{ma_surf} , d'un niveau de bâtiment, ou d'une zone thermique, est déterminée sur la base des capacités thermiques annuelles des parois (χ_{ai} avec i indice de paroi) calculées selon la norme NF EN ISO 13786 et des surfaces de ces parois.

| | | |
|--|-------------------|---------------|
| $C_{ma} = \sum A_i \times \chi_{ai}$ | (kJ/K) | (formule 282) |
| $A_{ma} = (\sum A_i \times (\chi_{ai} - \chi_{si}))^2 / (\sum A_i \times (\chi_{ai} - \chi_{si})^2)$ | (m ²) | (formule 283) |

où :

A_i (m²) est la surface de la paroi i ;

A_{niv} (m²) est la surface utile du niveau considéré du bâtiment (ou de la zone) ;

χ_{ai} (kJ/m².K) est la capacité thermique surfacique de la paroi i pour une période de 365 jours (a = indice de période annuelle) calculée selon la norme NF EN ISO 13786 avec les conditions spécifiques décrites au §6.3.1.1.

χ_{si} (kJ/m².K) est la capacité thermique surfacique de la paroi i pour une période de 14 jours (s = indice de période séquentielle) calculée précédemment.

Le mobilier est pris en compte de manière forfaitaire à 20 kJ/K par m² de sol dans le cas général (habitation, hébergement, bureau, ...) et à 0 kJ/K par m² de sol pour les bâtiments

à usage sportif.

Pour les parois entièrement situées dans l'ambiance la surface de chaque face est à considérer avec la capacité thermique surfacique afférente à chaque face calculée au §6.3.1. Si la paroi sépare deux niveaux, à l'instar d'un plancher intermédiaire, la capacité et la surface de :

- la face supérieure contribuent au calcul de l'inertie du niveau au-dessus du plancher
- la face inférieure contribuent au calcul de l'inertie du niveau en dessous du plancher.

Remarques sur les aspects thermiques non pris en compte

Les aspects thermiques non pris en compte sont les suivants :

- * Effet d'ailette 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.
- * Effet d'ailette et diffusion latérale internes aux composants avec cavité non 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.
- * Ponts thermiques des parois.

CHAPITRE IV

6.4 calcul des points d'inertie

La norme NF EN ISO 13786 a un domaine d'application limité dont les parois avec des hétérogénéités prononcées sont exclues. Pour les parois les plus courantes une méthode complémentaire, dite par points d'inertie, permet d'accéder à l'inertie d'un local ou d'un ensemble de locaux.

La méthode par points se déroule par étapes, elle consiste à :

- Déterminer, pour chaque niveau de la partie de bâtiment considérée, le nombre de points par parois en fonction des matériaux qui les composent et de leur position.
- Cumuler les points obtenus et déterminer la classe d'inertie de chaque niveau de la partie de bâtiment considérée en fonction du nombre de points obtenus.
- Retenir, pour un bâtiment ou une partie de bâtiment comportant plusieurs niveaux, la classe d'inertie du niveau le plus défavorisé.
- Relever les valeurs de C_{m_surf} et A_{m_surf} affectées à la classe d'inertie précédemment déterminée.

Il convient donc de déterminer le nombre de points affectés à chaque paroi. La méthode exposée ici présente pour chaque inertie quotidienne, séquentielle et annuelle :

- La façon d'additionner les points pour déterminer la classe d'inertie du local ou de l'ensemble de locaux.
- La façon de calculer le nombre de points d'une paroi en fonction de sa capacité et de sa surface ramenée à celle du niveau étudié.
- Les valeurs par défaut et les conventions pour les parois courantes.

6.4.1 DETERMINATION DE LA CLASSE D'INERTIE QUOTIDIENNE PAR « POINTS D'INERTIE »

Pour déterminer la classe d'inertie d'un bâtiment, ou d'une partie de bâtiment par la méthode par points, deux étapes sont nécessaires :

1^{ère} étape : déterminer la cotation de chaque paroi. Pour déterminer le nombre de points d'une paroi deux méthodes sont possibles selon que la capacité thermique surfacique est connue ou sa composition.

2^{ème} étape : déduction de la classe d'inertie du bâtiment.

La démarche est présentée dans la grille suivante avec la liste des références des tableaux de cotation des parois courantes si les conventions en fonction de la composition des parois est utilisée (cf. paragraphe 6.4.1.2).

1^{ère} étape : cotation des parois pour chaque niveau

| Paroi | | Niveau sous toiture | Niveau courant | Niveau inférieur |
|---|-----|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Plancher sous toiture | (a) | (cf. Tableau 93, Tableau 95) | | |
| Plancher intermédiaire (face inférieure) | | | (cf. Tableau 94., Tableau 95.) | (cf. Tableau 94., Tableau 95.) |
| Plancher intermédiaire (face supérieure) | (b) | (cf. Tableau 94.) | (cf. Tableau 94.) | |
| Plancher bas | | (cf. Tableau 96.)(*) | | (cf. Tableau 96.) |
| Murs | (c) | (cf. Tableau 97) | (cf. Tableau 97) | (cf. Tableau 97) |
| Cloisons | (d) | (cf. Tableau 98) | (cf. Tableau 98) | (cf. Tableau 98) |
| Mobilier | (e) | (cf. Tableau 99) | (cf. Tableau 99) | (cf. Tableau 99) |
| Total points par niveau = (a)+(b) +(c)+(d) +(e) | | | | |

(*) Dans le cas de bâtiment d'un seul niveau (pas de plancher intermédiaire)

Tableau 91 : Présentation générale des tableaux de points par paroi

2^{ème} étape : Déduction de la classe d'inertie du bâtiment

| | | | |
|-----------------|---|---------------------------|--|
| Valeur minimale | → | Classe d'inertie bâtiment | |
|-----------------|---|---------------------------|--|

Remarque : les « points d'inertie » obtenus par un ouvrage quantifient directement sa contribution à l'inertie globale du bâtiment ou de la partie de bâtiment 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.

6.4.1.1 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} (-). 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;

χ_j (kJ/m².K) : capacité thermique surfacique de la paroi (face intérieure) calculée selon la norme NF EN ISO 13786 avec les compléments précisés au §6.3.1 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.

| A/A_{niv} | 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 |
| 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 |

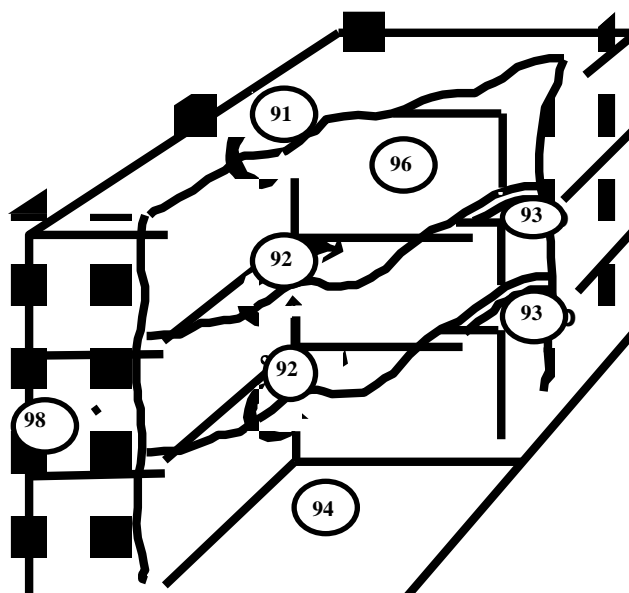
Tableau 92 : Points d'inertie d'une paroi selon sa capacité surfacique quotidienne et sa surface – équivalence en épaisseur de paroi en béton plein

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). Ainsi, chaque face est considérée comme une paroi avec sa capacité, calculée au §6.3.1, et sa surface.

6.4.1.2 Détermination des points d'inertie des parois courantes

En l'absence de la valeur de la capacité, le nombre de points donné dans les tableaux suivants peut être retenu. La liste des références des tableaux de cotation des parois courantes est présentée dans la figure ci-dessous.

Figure 144 :
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.

6.4.1.2.1 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 93 ci-après.

Lorsque le plancher haut est équipé d'un faux plafond avec une lame d'air moyenne ou fortement ventilée alors les cotations du Tableau 93 s'appliquent. Pour un plancher haut avec un faux plafond, dont la lame d'air est faiblement ou non ventilée, il convient de se référer au Tableau 95.

| 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> 8 cm 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 1 cm 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 93 – Points d'inertie de parois courantes de toitures sans faux plafond

6.4.1.2.2 *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 94.

Lorsque le plancher intermédiaire a, pour sa face inférieure, un faux plafond avec une lame d'air moyenne ou fortement ventilée alors les cotations du Tableau 94 s'appliquent. Pour un plancher intermédiaire, dont la face inférieure a un faux plafond avec une la lame d'air faiblement ou non ventilée, il convient de se référer au Tableau 95.

| DESCRIPTIF PAROI COURANTE DE PLANCHER INTERMEDIAIRE | FACE SUPERIEURE | | FACE INFERIEURE SANS FAUX PLAFOND | |
|---|--|---|---|------------------------------------|
| | 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 béton 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 | LEGER |
| • Plancher bois | 0 | 1 | 1 | LEGER |
| Tout plancher avec isolant en sous face | | | | |
| ◇ sans plâtre | <i>Cf. partie haute du tableau : plancher sans isolant</i> | <i>cf. partie haute du tableau : plancher sans isolant</i> | 0 | LEGER |
| ◇ 1 cm de plâtre | | | 1 | |
| ◇ 2 cm de plâtre | | | 2 | |

Tableau 94 : 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. Pour la détermination des points d'inertie des parois courantes de plancher avec un faux plafond équipé d'une lame d'air faiblement ou non ventilée, il faut utiliser le Tableau 95.

6.4.1.2.3 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 le Tableau 93 et dans le Tableau 94.

| 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 93 <u>Plancher intermédiaire</u> : cf. Tableau 94 | | |
| Faux plafond en fibre de roche, laine de | Lame d'air non ventilée | 1 | 1 | 1 |
| roche ou fibre de verre (épaisseur variant de 15 à 20 mm) | Lame d'air faiblement ventilée | 2 | 2 | 1 |
| Faux plafond en terre cuite | Lame d'air non ventilée | 3 | 3 | 1 |
| (épaisseur 30 mm ou plus) | Lame d'air faiblement ventilée | 3 | 3 | 1 |
| Faux plafond en plâtre | Lame d'air non ventilée | 3 | 2 | 1 |
| (épaisseur 15 mm ou plus) | Lame d'air faiblement ventilée | 3 | 2 | 1 |
| Faux plafond en aluminium ou en acier | Lame d'air non ventilée | 3 | 2 | 1 |
| (épaisseur 0,5 mm) | Lame d'air faiblement ventilée | 4 | 3 | 1 |
| Faux plafond en fibre de bois | Lame d'air non ventilée | 2 | 1 | 1 |
| (épaisseur variant de 15 à 20 mm) | Lame d'air faiblement ventilée | 3 | 2 | 1 |
| Faux plafond en polystyrène (épaisseur | Lame d'air non ventilée | 1 | 1 | 1 |
| variant de 10 à 25 mm) | Lame d'air faiblement ventilée | 2 | 1 | 1 |

Tableau 95 – Points d'inertie de parois courantes de plancher avec faux plafond

Le plancher bas désigne le plancher du niveau le plus bas du bâtiment. Ces parois sont cotées uniquement pour leur face supérieure (cf. Tableau 96).

| DESCRIPTIF PAROI | POINTS D'INERTIE W/(K.m ²) | |
|---|--|---------------------------------|
| | Revêtement avec effet thermique | Revêtement sans effet thermique |
| PLANCHER BAS | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Plancher <i>béton plein</i> de plus de 10 cm d'épaisseur avec isolant en sous-face (*) | 4 | 6 |
| <ul style="list-style-type: none"> Tout plancher avec dalle de béton de 5 cm d'épaisseur et plus | 4 | 5 |
| <ul style="list-style-type: none"> 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 96 – 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.

6.4.1.2.4 *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 partie de bâtiment.

Des valeurs par défaut du rapport A/A_{niv} peuvent être retenues comme suit :

- maison individuelle isolée : $A/A_{\text{niv}} > 0,9$
- bâtiment étroit : $0,9 > A/A_{\text{niv}} > 0,5$. *Un bâtiment peu épais est défini par un rapport entre, d'une part, la largeur (distance entre façades opposées), d'autre part, la hauteur entre niveaux inférieur à 5.*

| POINTS D'INERTIE W/(K.m ² sol) | Surface de paroi ramenée à la surface utile A/A _{niv} | | |
|--|--|---------------------------|----------------------------|
| | A/A _{niv} > 0,9 | 9>A/A _{niv} >0,5 | 5>A/A _{niv} >0,25 |
| <ul style="list-style-type: none"> • 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> • isolation répartie avec ◇ brique de terre cuite à perforations verticales de 37 cm ou plus ◇ bloc de béton cellulaire 30 cm ou plus ◇ brique de terre cuite à perforations verticales de 30 cm à 36 cm | 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 |
| <ul style="list-style-type: none"> • isolation intérieure ◇ cloison brique 5 cm ou plus enduite ◇ doublage carreau de plâtre 5 cm ◇ doublage bloc béton 5 cm ◇ cloison brique 3,5 cm ou plus enduite ◇ doublage 1 cm plâtre | 3 | 1 | 1 |
| ◇ cloison brique 3,5 cm ou plus enduite | 2 | 1 | 1 |
| ◇ doublage 1 cm plâtre | 1 | 0 | 0 |
| <ul style="list-style-type: none"> • panneau léger de remplissage - bardages métalliques | 1 | 0 | 0 |

Tableau 97 – Points d'inertie de parois courantes de mur (parois de façades, pignons)

6.4.1.2.5 *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 98.

A défaut de connaître la taille des locaux, A_{loc} , les valeurs suivantes seront retenues en fonction de l'usage principal :

- ✓ habitation, hébergement : $A_{loc} < 30 \text{ m}^2$
- ✓ enseignement et usages autres que ceux précisés : $30 < A_{loc} < 100 \text{ m}^2$
- ✓ grandes surfaces de vente, industrie, gymnase : $A_{loc} > 100 \text{ m}^2$

Si un doute existe autour des valeurs limites 30 et 100 m², 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 m ² | 30 < A _{loc} < 100 m ² | A _{loc} > 100 m ² |
| Béton plein ou bloc perforé en béton 10 cm ou plus | 8 | 5 | 2 (*) |
| Brique pleine ou perforée 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 (*) |
| Cloison séparative avec sur chaque face une plaque de plâtre BA13 | 2 (*) | 1 (*) | 0 (*) |

Tableau 98 : 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/m² 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.

6.4.1.2.6 Cotation de l'inertie du mobilier

| POINTS D'INERTIE W/(K.m ²) DESCRIPTIF MOBILIER | USAGE DU BATIMENT | |
|---|--|--------|
| | Habitation hébergement bureau, santé, ... | Sports |
| Valeur forfaitaire | 1 | 0 |

Tableau 99 : Cotation de l'inertie du mobilier

6.4.1.3 Détermination de la classe d'inertie quotidienne

La classe d'inertie quotidienne d'un bâtiment, ou d'une partie de bâtiment, 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 :

| 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 100 : Classe d'inertie d'un niveau de bâtiment déterminée par points d'inertie

Le niveau qui conduit à la classe d'inertie la plus légère est retenue pour déterminer les paramètres pour caractériser le bâtiment ou la partie de bâtiment.

6.4.1.4 Détermination de C_{mq_surf} et de A_{mq_surf}

La capacité thermique quotidienne, C_{mq_surf} , et la surface d'échange avec l'ambiance, A_{mq_surf} , sont déterminées à partir de la classe d'inertie en appliquant

| CLASSE QUOTIDIENNE | D'INERTIE | Capacité quotidienne C_{mq_surf} (kJ/(K.m ²)) | Surface d'échange A_{mq_surf} (m ² /m ²) |
|--------------------|-----------|--|--|
| • très légère | | 80 | 2,5 |
| • légère | | 110 | 2,5 |
| • moyenne | | 165 | 2,5 |
| • lourde | | 260 | 3,0 |
| • très lourde | | 370 | 3,5 |

Tableau 101 : Détermination de C_{mq_surf} et de A_{mq_surf} comme valeur d'entrée des méthodes d'application des réglementations thermiques

6.4.2 DETERMINATION DE LA CLASSE D'INERTIE SEQUENTIELLE PAR « POINTS D'INERTIE »

La classe d'inertie séquentielle est obtenue à partir de la sommation des points d'inertie quotidienne des parois (et mobilier) du niveau étudié à laquelle **on ajoute des « points d'inertie séquentielle »** (cf. Tableau 107).

Les points d'inertie séquentielle correspondent au « gain d'inertie séquentielle » défini comme l'écart entre l'inertie séquentielle (profondeur de pénétration de l'onde séquentielle établie sur 14 jours) et l'inertie quotidienne (profondeur de pénétration de l'onde quotidienne établie sur 24 heures).

6.4.2.1 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 $\chi_s - \chi_j$ (kJ/m²K) et sa surface ramenée à la surface utile du niveau considéré A/A_{niv} (-) selon le tableau de cotation suivant :

| Gain séquentiel surfacique $\chi_s - \chi_j$ (kJ/m ² 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) | | | | | |
| A/A_{niv} (-) | 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 102 : Points d'inertie séquentielle d'une paroi selon le gain séquentiel surfacique

avec : A (m²) la surface de la paroi déduction faite des percements (fenêtres, portes, etc.) ;

A_{niv} (m²) la surface utile du niveau considéré du bâtiment ou de la zone ;

χ_s , χ_j (kJ/m²K) les capacités thermiques surfaciques de la paroi calculées selon la norme NF EN ISO 13786 avec les compléments précisés au §6.3.1 respectivement pour une période de 14 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 la méthode par points d'inertie.

6.4.2.2 Détermination des points d'inertie séquentielle des parois courantes

En l'absence de la valeur du gain séquentiel surfacique, le nombre de points d'inertie séquentielle donné dans les tableaux suivants peut être retenu.

- Tableau 103 : Plancher haut ;
- Tableau 104 : Plancher intermédiaire ;
- Tableau 105 : Plancher bas ;
- Tableau 106 : Murs.

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.

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.

6.4.2.2.1 Points 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 103 : Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher haut

6.4.2.2.2 *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 104 – Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher intermédiaire

6.4.2.2.3 *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 105 : Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher bas

6.4.2.2.4 Points d'inertie séquentielle de parois courantes de murs extérieurs

| POINTS SEQUENTIELLE W/(K.m ²) | D'INERTIE | 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 | | | | |
| : | | 7 | 4 | 2 |
| ◇ béton plein 20 cm et plus | | 5 | 3 | 1 |
| ◇ béton plein 16 à 20 cm | | 3 | 1 | 0 |
| ◇ blocs perforés béton 12,5 cm et plus | | 1 | 0 | 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 | | | | |
| 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 106 : Points d'inertie séquentielle de parois courantes de mur

6.4.2.3 Détermination de la classe d'inertie séquentielle

La classe d'inertie séquentielle d'un bâtiment, ou d'une partie de bâtiment, est déterminée par la somme des « points d'inertie » au titre de l'inertie quotidienne et séquentielle des parois qui le compose :

| 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 107 : Classe d'inertie séquentielle d'un bâtiment déterminée par points d'inertie séquentielle

6.4.2.4 Détermination de C_{ms_surf} et de A_{ms_surf}

La capacité thermique séquentielle, C_{ms_surf} , et la surface d'échange avec l'ambiance, A_{ms_surf} , sont déterminées à partir de la classe d'inertie en appliquant

| CLASSE D'INERTIE SEQUENTIELLE | Capacité séquentielle C_{ms_surf} (kJ/(K.m ²)) | Surface d'échange A_{ms_surf} (m ² /m ²) |
|------------------------------------|--|---|
| • indéterminée (valeur par défaut) | $C_{ms_surf} = C_{mq_surf}$ | $A_{ms_surf} = A_{mq_surf}$ |
| • très légère | $C_{ms_surf} = C_{mq_surf}$ | $A_{ms_surf} = A_{mq_surf}$ |
| • légère | 260 | 2 |
| • moyenne | 500 | 2,5 |
| • lourde | 850 | 3 |

Tableau 108 Détermination de C_{ms_surf} et d' A_{ms_surf} comme valeurs d'entrée des méthodes d'application des réglementations thermiques

6.4.3 DETERMINATION DE LA CLASSE D'INERTIE ANNUELLE PAR « POINTS D'INERTIE »

La classe d'inertie annuelle est obtenue à partir de la sommation des points d'inertie quotidienne des parois (et mobilier) du niveau étudié à laquelle **on ajoute des « points d'inertie séquentielle » et à laquelle on ajoute des « points d'inertie annuelle »**.

Les points d'inertie annuelle correspondent au « gain d'inertie annuelle » défini comme l'écart entre l'inertie annuelle (profondeur de pénétration de l'onde annuelle établie sur 365 jours) et l'inertie séquentielle (profondeur de pénétration de l'onde séquentielle établie sur 14 jours).

6.4.3.1 Points d'inertie annuelle d'une paroi selon le gain annuel surfacique

Les points d'inertie annuelle d'une paroi peuvent être déterminés à partir du gain annuel surfacique $\chi_a - \chi_s$ (kJ/m²K) et sa surface ramenée à la surface utile du niveau considéré A/A_{niv} (-) selon le tableau de cotation suivant :

| | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Gain annuel surfacique $\chi_a - \chi_s$ (kJ/m ² .K) | 100 à 399 | 400 à 999 | 1000 à 1999 | 2000 à 2999 | 3000 à 4499 | 4500 et plus |
| Epaisseur paroi en béton comptée par l'intérieur : e (cm) | 45 à 59 | 60 à 89 | 90 à 139 | 140 à 189 | 190 et + | |
| Epaisseur paroi en terre comptée par l'intérieur : e (cm) | 25 à 34 | 35 à 49 | 50 à 69 | 70 à 99 | 100 à 129 | 130 et plus |
| Points complémentaires d'inertie annuelle pour $A/A_{niv}=1$ | 8 | 24 | 50 | 90 | 120 | 150 |

Tableau 109 : Points d'inertie annuelle d'une paroi selon le gain annuel surfacique

avec : A (m²) la surface de la paroi déduction faite des percements (fenêtres, portes, etc.) ;

A_{niv} (m²) la surface utile du niveau considéré du bâtiment ou de la zone ;

χ_a, χ_s (kJ/m²K) les capacités thermiques surfaciques de la paroi calculées selon la norme NF EN ISO 13786 avec les compléments précisés au §6.3.1 respectivement pour une période de 365 jours et pour une période de 14 jours ;

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 annuelle d'une paroi dans le cadre de la méthode par points d'inertie.

6.4.3.2 Détermination des points d'inertie annuelle des parois courantes

En l'absence de la valeur du gain annuel surfacique, le nombre de points d'inertie annuelle donné dans les tableaux suivants peut être retenu.

- Tableau 110 : Plancher bas ;
- Tableau 111 : Murs ;

Remarque : les cloisons et le mobilier ne peuvent contribuer à l'inertie annuelle au-delà de leur inertie quotidienne. Ils ne possèdent donc pas de points spécifiques d'inertie annuelle. Les planchers hauts et intermédiaires sont considérés trop fin pour contribuer à l'inertie annuelle.

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.

6.4.3.2.1 Points d'inertie annuelle 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 ANNUELLE W/(K.m ²) |
|---|---|
| Plancher sur terre-plein non isolé ou avec isolant périphérique | 150 |
| Autres planchers | 0 |

Tableau 110 : Points d'inertie annuelle de parois courantes de plancher bas

6.4.3.2.2 Points d'inertie annuelle de parois courantes de murs extérieur

| POINTS D'INERTIE ANNUELLE W/(K.m ²) | Surface de paroi ramenée à la surface utile A/A _{niv} |
|---|--|
| DESCRIPTIF PAROI | A/A _{niv} > 0,9 |
| Isolation extérieure avec à l'intérieur | |
| : | 50 |
| ◇ terre 50 cm | 40 |
| ◇ béton plein 100 cm et plus | |

Tableau 111 – Points d'inertie annuelle de parois courantes de murs

6.4.3.3 Détermination de la classe d'inertie annuelle

La classe d'inertie annuelle d'un bâtiment, ou d'une partie de bâtiment, est déterminée par la somme des « points d'inertie » au titre de l'inertie quotidienne, séquentielle et annuelle des parois qui le compose :

| Classe d'inertie annuelle | très légère | légère | moyenne |
|---|-------------|----------|-------------|
| Points d'inertie totaux y compris les points d'inertie séquentielle et annuelle | < 35 | 36 à 130 | 131 et plus |

Tableau 112 : Classe d'inertie annuelle d'un bâtiment déterminée par points d'inertie annuelle

6.4.3.4 Détermination de C_{ma_surf} et de A_{ma_surf}

La capacité thermique annuelle, C_{ma_surf} , et la surface d'échange avec l'ambiance, A_{ma_surf} , sont déterminées à partir de la classe d'inertie en

| CLASSE D'INERTIE ANNUELLE | Capacité annuelle C_{ma_surf} (kJ/(K.m ²)) | Surface d'échange A_{ma_surf} (m ² /m ²) |
|------------------------------------|--|---|
| • indéterminée (valeur par défaut) | $C_{ma_surf} = C_{ms_surf}$ | $A_{ma_surf} = A_{ms_surf}$ |
| • très légère | $C_{ma_surf} = C_{ms_surf}$ | $A_{ma_surf} = A_{ms_surf}$ |
| • légère | 2000 | 1 |
| • moyenne | 6000 | 1 |

Tableau 113 : Détermination de C_{ma_surf} et d' A_{ma_surf} comme valeurs d'entrée des méthodes d'application des réglementations thermiques