

NORME  
INTERNATIONALE

ISO  
9050

Première édition  
1990-02-15

---

---

**Verre dans la construction — Détermination de  
la transmission lumineuse, de la transmission  
solaire directe, de la transmission totale de  
l'énergie solaire, de la transmission de  
l'ultraviolet et des facteurs dérivés des vitrages**  
**(standards.iteh.ai)**

*Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance,  
total solar energy transmittance and ultraviolet transmittance, and related glazing  
factors*  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/86ae7866-8e19-4475-ae1d-efd853b8208c/iso-9050-1990>



Numéro de référence  
ISO 9050 : 1990 (F)

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO. Les Normes internationales sont approuvées conformément aux procédures de l'ISO qui requièrent l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

(standards.iteh.ai)

La Norme internationale ISO 9050 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 160, *Verre dans la construction*.

[ISO 9050:1990](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/86ae7866-8e19-4475-ae1d-638571e27088/iso-9050-1990>

L'annexe A de la présente Norme internationale est donnée uniquement à titre d'information.

© ISO 1990

Droits de reproduction réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation  
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

# Verre dans la construction – Détermination de la transmission lumineuse, de la transmission solaire directe, de la transmission totale de l'énergie solaire, de la transmission de l'ultraviolet et des facteurs dérivés des vitrages

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale prescrit les méthodes de détermination des transmissions lumineuse et énergétique solaire s'appliquant aux vitrages de bâtiments. Ces facteurs caractéristiques serviront de base aux calculs relatifs à l'éclairage et au conditionnement thermique des locaux et permettront d'établir des comparaisons entre différents types de vitrage.

La présente Norme internationale couvre aussi bien les unités de vitrage conventionnelles que celles présentant des propriétés d'absorption et de réflexion de l'énergie solaire, et utilisées comme vitrages verticaux ou horizontaux. Des formules appropriées sont établies pour des vitrages simples, doubles ou triples.

La présente Norme internationale s'applique à tous les matériaux transparents à l'exception de ceux qui présentent une transmission non négligeable (5  $\mu\text{m}$  à 50  $\mu\text{m}$ ) dans le domaine de rayonnement des températures ambiantes, tel que certaines feuilles de matériaux plastiques.

Les matériaux caractérisés par des propriétés de diffusion des rayonnements incidents seront traités comme des matériaux transparents conventionnels sous certaines réserves (voir 2.2).

## 2 Détermination des paramètres caractéristiques

### 2.1 Généralités

Les paramètres caractéristiques sont déterminés pour un rayonnement quasi parallèle en incidence presque normale (voir [6]) en utilisant successivement la distribution spectrale de l'illuminant  $D_{65}$  (voir tableau 1), celle du soleil (voir tableau 2 ou 3) et celle du rayonnement ultraviolet (voir tableau 4).

Ces paramètres caractéristiques sont les suivants :

- les facteurs spectraux de transmission,  $\tau(\lambda)$ , et les facteurs spectraux de réflexion,  $\rho(\lambda)$ , dans le domaine de longueurs d'onde de 280 nm à 2 500 nm,
- les facteurs de transmission,  $\tau_v$ , et de réflexion,  $\rho_v$ , lumineuses correspondant à l'illuminant  $D_{65}$ ,
- les facteurs de transmission directe,  $\tau_e$ , et de réflexion directe,  $\rho_e$ , de l'énergie solaire,

- le facteur de transmission totale de l'énergie solaire (facteur solaire),  $g$ ,
- le facteur de transmission du rayonnement solaire ultraviolet,  $\tau_{UV}$ ,
- l'indice général de rendu des couleurs,  $R_a$  (selon [2]).

Les principaux paramètres qui caractérisent un vitrage sont  $\tau_v$  et  $g$ , les autres paramètres étant éventuellement fournis comme informations supplémentaires.

Sans autres spécifications, les paramètres caractéristiques sont déterminés selon les conditions normalisées citées en 2.2 à 2.6.

### 2.2 Facteur de transmission lumineuse

Le facteur de transmission lumineuse,  $\tau_v$ , des vitrages est calculé à partir de la relation suivante :

$$\tau_v = \frac{\int_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_{\lambda} \tau(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_{\lambda} V(\lambda) d\lambda} \approx \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_{\lambda} \tau(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda} \quad \dots(1)$$

où

$D_{\lambda}$  est la distribution spectrale relative de l'illuminant  $D_{65}$  (voir [3]);

$\tau(\lambda)$  est le facteur spectral de transmission du vitrage;

$V(\lambda)$  est la distribution spectrale définissant la fonction d'efficacité lumineuse relative photopique de l'observateur de référence photométrique (voir [3]).

Le tableau 1 donne les valeurs de  $D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda$  pour des intervalles de 10 nm. Ce tableau a été établi de façon à obtenir  $\sum D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda = 100$ .

Dans le cas des vitrages multiples, le facteur spectral de transmission,  $\tau(\lambda)$ , peut être calculé à partir des facteurs spectraux de transmission et de réflexion des éléments individuels composant les vitrages, à l'aide des relations suivantes.

Pour les doubles vitrages :

$$\tau(\lambda) = \frac{\tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)}{1 - \rho_1(\lambda)\rho_2(\lambda)} \quad \dots(2)$$

où

$\tau_1(\lambda)$  est le facteur spectral de transmission de la feuille extérieure;

$\tau_2(\lambda)$  est le facteur spectral de transmission de la deuxième feuille;

$\rho_1(\lambda)$  est le facteur spectral de réflexion de la feuille extérieure mesuré dans la direction du rayonnement incident;

$\rho'_1(\lambda)$  est le facteur spectral de réflexion de la feuille extérieure mesuré dans la direction opposée au rayonnement incident;

$\rho_2(\lambda)$  est le facteur spectral de réflexion de la deuxième feuille mesuré dans la direction du rayonnement incident.

Pour les vitrages triples :

$$\tau(\lambda) = \frac{\tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)\tau_3(\lambda)}{[1 - \rho'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)] \times [1 - \rho'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda)\rho'_1(\lambda)\rho_3(\lambda)} \dots (3)$$

où

$\tau_1(\lambda)$ ,  $\tau_2(\lambda)$ ,  $\rho_1(\lambda)$ ,  $\rho'_1(\lambda)$  et  $\rho_2(\lambda)$  sont définis pour la relation (2);

$\tau_3(\lambda)$  est le facteur spectral de transmission de la troisième feuille;

$\rho'_2(\lambda)$  est le facteur spectral de réflexion de la deuxième feuille mesuré dans la direction opposée au rayonnement incident;

$\rho_3(\lambda)$  est le facteur spectral de réflexion de la troisième feuille mesuré dans la direction du rayonnement incident.

Pour les vitrages à plus de trois éléments, le calcul de  $\tau(\lambda)$  peut être effectué à partir des facteurs spectraux des éléments individuels à l'aide de relations analogues aux relations (2) et (3). Par exemple, pour un vitrage composé de cinq éléments on peut procéder comme suit :

- a) considérer d'abord les trois premiers éléments comme un vitrage triple et calculer les facteurs de cette unité;
- b) calculer de même une unité comprenant les deux derniers éléments;
- c) calculer finalement  $\tau(\lambda)$  pour le vitrage à cinq éléments en le considérant comme un double vitrage composé des deux unités précédentes.

NOTES

- 1 Le facteur spectral de transmission  $\tau(\lambda)$  de tout vitrage multiple peut également être mesuré directement sur le vitrage complet.
- 2 Dans le cas d'incidence oblique du rayonnement, c'est-à-dire en général pour tout vitrage éclairé par le Soleil, par le ciel clair ou couvert, par les réflexions du sol et des bâtiments, la transmission est plus petite que celle obtenue en incidence normale. En conséquence, l'application de corrections adéquates dans le calcul des ouvertures vitrées augmentera quelque peu les dimensions de ces dernières par rapport aux valeurs résultant des facteurs de transmission déterminés pour un rayonnement quasi parallèle en incidence presque normale (voir [7]).
- 3 Les calculs relatifs à la lumière du jour sont effectués selon [4].
- 4 Il est recommandé que les mesures concernant les matériaux diffusant la lumière soient effectuées à l'aide d'une sphère intégratrice. Dans ce cas, les dimensions de la sphère et de son ouverture devraient être suffisamment grandes pour capter tout rayonnement diffus de façon à obtenir des valeurs moyennes réelles lorsque le relief des surfaces est irrégulier.

2.3 Facteur de réflexion lumineuse

Le facteur de réflexion lumineuse,  $\rho_v$ , des vitrages est calculé à partir de la relation suivante :

$$\rho_v = \frac{\int_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_\lambda \rho(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_\lambda V(\lambda) d\lambda} \approx \frac{\sum_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_\lambda \rho(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda} \dots (4)$$

où

$D_\lambda$  et  $V(\lambda)$  sont définis en 2.2;

$\rho(\lambda)$  est le facteur spectral de réflexion du vitrage.

Dans le cas de vitrages multiples, le facteur spectral de réflexion,  $\rho(\lambda)$ , peut être calculé à partir des facteurs spectraux de transmission et de réflexion des éléments individuels composant les vitrages, à l'aide des relations suivantes (pour les définitions de symboles, voir 2.2).

Pour les doubles vitrages :

$$\rho(\lambda) = \rho_1(\lambda) + \frac{\tau_1^2(\lambda)\rho_2(\lambda)}{1 - \rho'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)} \dots (5)$$

Pour les triples vitrages :

$$\rho(\lambda) = \rho_1(\lambda) + \frac{\tau_1^2(\lambda)\rho_2(\lambda)[1 - \rho'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)] + \tau_1^2(\lambda)\tau_2^2(\lambda)\rho_3(\lambda)}{[1 - \rho'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)] \times [1 - \rho'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda)\rho'_1(\lambda)\rho_3(\lambda)} \dots (6)$$

Pour les vitrages à plus de trois éléments, on utilise une méthode de calcul analogue à celle décrite en 2.2.

2.4 Facteur de transmission totale de l'énergie solaire (facteur solaire)

2.4.1 Définition

Le facteur de transmission totale de l'énergie solaire,  $g$ , est représenté par la somme du facteur de transmission directe de l'énergie solaire  $\tau_e$  et du facteur de réémission thermique vers l'intérieur  $q_i$  (voir 2.4.3 et 2.4.6). Cette réémission consiste en transferts thermiques par convection et par radiation dans l'infrarouge lointain de la partie du rayonnement solaire incident qui a été absorbée par le vitrage.

$$g = \tau_e + q_i \dots (7)$$

2.4.2 Distribution du rayonnement solaire incident

Le flux solaire incident  $\phi_e$  se divise en trois parties suivantes (voir figure 1) :

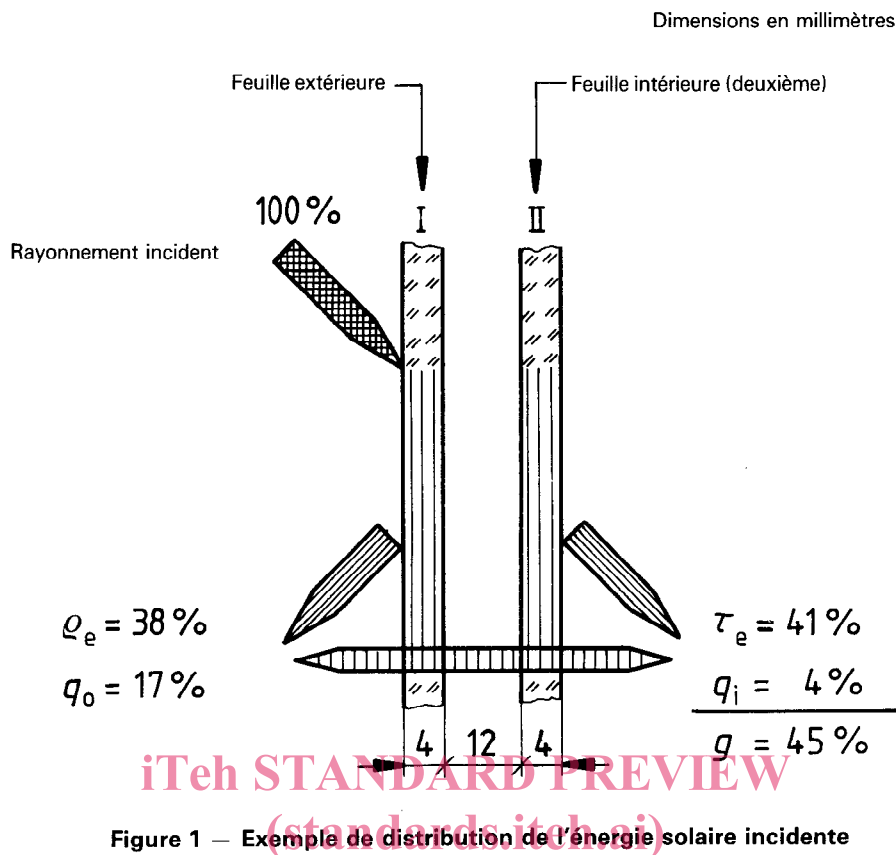
- la partie transmise,  $\tau_e \phi_e$
- la partie réfléchie,  $\rho_e \phi_e$
- la partie absorbée,  $\alpha_e \phi_e$

où

$\tau_e$  est le facteur de transmission directe de l'énergie solaire (voir 2.4.3);

$\rho_e$  est le facteur de réflexion directe de l'énergie solaire (voir 2.4.4);

$\alpha_e$  est le facteur d'absorption directe de l'énergie solaire (voir 2.4.5).



La relation entre ces trois facteurs est la suivante :

$$\tau_e + \alpha_e + \alpha_e = 1 \tag{8}$$

La partie absorbée  $\alpha_e \phi_e$  est ensuite partagée en deux parties  $q_i \phi_e$  et  $q_o \phi_e$  qui sont les énergies réémises respectivement vers l'intérieur et vers l'extérieur.

$$\alpha_e = q_i + q_o \tag{9}$$

où

$q_i$  est le facteur de réémission thermique vers l'intérieur;

$q_o$  est le facteur de réémission thermique vers l'extérieur.

### 2.4.3 Facteur de transmission directe de l'énergie solaire

Le facteur de transmission directe de l'énergie solaire,  $\tau_e$ , du vitrage est calculé à partir de la relation suivante :

$$\tau_e = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \approx \frac{\sum_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \Delta\lambda} \tag{10}$$

où

$S_{\lambda}$  est la distribution spectrale du rayonnement solaire (voir tableaux 2 et 3);

$\tau(\lambda)$  est le facteur spectral de transmission du vitrage.

Pour les vitrages multiples, le facteur spectral de transmission,  $\tau(\lambda)$ , est calculé suivant la méthode exposée en 2.2.

Généralement, deux distributions  $S_{\lambda}$  sont utilisées pour calculer le facteur de transmission directe de l'énergie solaire, l'une selon [5] et l'autre selon P. Moon (voir [8]) pour une masse d'air 2. Les valeurs correspondantes de  $S_{\lambda} \Delta\lambda$  sont données dans les tableaux 2 et 3. Ces tableaux ont été établis de façon à obtenir  $\sum S_{\lambda} \Delta\lambda = 1$ . D'autres distributions spectrales,  $S_{\lambda}$ , correspondant à des conditions climatiques spéciales peuvent également être utilisées.

Dans la plupart des cas, les différences entre les facteurs de transmission directe, obtenus à l'aide de ces deux distributions, sont négligeables. Certains matériaux présentant des variations considérables de transmission dans tout le domaine spectral pourraient donner lieu à des différences significatives. En ce qui concerne les vitrages classiques, ces différences n'atteignent que quelques pourcents.

On doit indiquer dans tous les cas les distributions spectrales,  $S_{\lambda}$ , utilisées dans le calcul des valeurs énergétiques caractéristiques.

#### NOTES

1 Contrairement aux situations réelles, mais de manière à simplifier les choses, on supposera que la distribution spectrale de l'énergie solaire (voir tableaux 2 et 3) ne dépend pas des conditions atmosphériques (poussières, brume, teneur en vapeur d'eau) et que le rayonnement solaire atteint le vitrage sous la forme d'un faisceau parallèle à incidence quasi normale. Les erreurs en résultant sont très faibles.

2 Dans le cas d'incidence oblique du rayonnement, la transmission directe et en conséquence la transmission totale de l'énergie solaire sont réduites (voir note 2 en 2.2). L'effet d'atténuation de l'énergie solaire est quelque peu augmenté lorsque l'incidence du rayonnement est oblique.

**2.4.4 Facteur de réflexion directe de l'énergie solaire**

Le facteur de réflexion directe de l'énergie solaire,  $\rho_e$ , du vitrage est calculé à partir de la relation suivante :

$$\rho_e = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \rho(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \approx \frac{\sum_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \rho(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \Delta\lambda} \quad \dots(11)$$

où

$S_{\lambda}$  est la distribution spectrale du rayonnement solaire (voir tableaux 2 et 3);

$\rho(\lambda)$  est le facteur spectral de réflexion du vitrage.

Pour les vitrages multiples, le facteur spectral de réflexion,  $\rho(\lambda)$ , est calculé suivant la méthode exposée en 2.3.

**2.4.5 Facteur d'absorption directe de l'énergie solaire**

Le facteur d'absorption directe de l'énergie solaire,  $\alpha_e$ , est calculé à partir de la relation (8).

**2.4.6 Facteur de réémission thermique vers l'intérieur**

**2.4.6.1 Conditions limites**

Dans le calcul du facteur de réémission thermique vers l'intérieur,  $q_i$ , il est nécessaire de fixer les facteurs d'échange thermique,  $h_e$  et  $h_i$ , des surfaces extérieure et intérieure du vitrage. Ces valeurs dépendent principalement de la position du vitrage, de la vitesse du vent, des températures extérieure et intérieure et des températures propres des surfaces extérieure et intérieure du vitrage.

Comme le but de la présente Norme internationale est de permettre d'établir une information de base sur les propriétés du vitrage, les conditions conventionnelles suivantes sont adoptées dans un but de simplification :

- position du vitrage : verticale;
- surface extérieure : vitesse du vent environ 4 m/s, émissivité hémisphérique 0,83;
- surface intérieure : convection naturelle, émissivité à fixer.

Dans ces conditions conventionnelles et moyennes, on obtient pour  $h_e$  et  $h_i$  les valeurs suivantes :

$$h_e = 23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$h_i = 3,6 + \frac{4,4 \varepsilon_i}{0,83} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

où  $\varepsilon_i$  est l'émissivité hémisphérique [pour le verre normal  $\varepsilon_i = 0,83$  et  $h_i = 8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ].

Si d'autres facteurs d'échange devaient être utilisés dans le calcul de l'énergie réémise de façon à répondre à des conditions limites spéciales, il conviendrait de signaler ce fait.

NOTE — Des valeurs de  $\varepsilon_i$  inférieures à 0,83 (obtenues par des traitements superficiels provoquant une réflexion plus élevée dans le lointain infra-rouge) ne devraient être prises en considération que si l'on peut exclure toute présence de condensation d'eau sur la surface traitée.

**2.4.6.2 Simple vitrage**

Le facteur de réémission thermique vers l'intérieur,  $q_i$ , du simple vitrage est calculé à l'aide de la relation suivante :

$$q_i = \alpha_e \frac{h_i}{h_e + h_i} \quad \dots(12)$$

où

$\alpha_e$  est le facteur d'absorption direct de l'énergie solaire (voir 2.4.5);

$h_i$  et  $h_e$  sont les facteurs d'échange thermique des surfaces intérieure et extérieure (voir 2.4.6.1).

**2.4.6.3 Double vitrage**

Le facteur de réémission thermique vers l'intérieur,  $q_i$ , du double vitrage est calculé à l'aide de la relation suivante :

$$q_i = \left( \frac{\alpha_{e1} + \alpha_{e2}}{h_e} + \frac{\alpha_{e2}}{\Lambda} \right) / \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{\Lambda} \right) \quad \dots(13)$$

où

$\alpha_{e1}$  est le facteur d'absorption directe de l'énergie solaire de la feuille extérieure dans le double vitrage;

$\alpha_{e2}$  est le facteur d'absorption directe de l'énergie solaire de la deuxième feuille dans le double vitrage;

$\Lambda$  est la conductance thermique entre la feuille extérieure et la deuxième feuille du double vitrage.

Les facteurs  $\alpha_{e1}$  et  $\alpha_{e2}$  sont calculés à partir des relations suivantes :

$$\alpha_{e1} = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \left\{ \alpha_1(\lambda) + \frac{\alpha_1(\lambda)\tau_1(\lambda)\rho_2(\lambda)}{1 - \rho_1(\lambda)\rho_2(\lambda)} \right\} d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \quad \dots(14)$$

$$\alpha_{e2} = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \left\{ \frac{\alpha_2(\lambda)\tau_1(\lambda)}{1 - \rho_1(\lambda)\rho_2(\lambda)} \right\} d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \quad \dots(15)$$

où

$\alpha_1(\lambda)$  est le facteur spectral d'absorption de la feuille extérieure mesuré dans la direction du rayonnement incident et donné par la relation

$$\alpha_1(\lambda) = 1 - \tau_1(\lambda) - \rho_1(\lambda) \quad \dots(16)$$

$\alpha'_1(\lambda)$  est le facteur spectral d'absorption de la feuille extérieure mesuré dans la direction opposée au rayonnement incident et donné par la relation

$$\alpha'_1(\lambda) = 1 - \tau_1(\lambda) - \rho'_1(\lambda) \quad \dots(17)$$

$\alpha_2(\lambda)$  est le facteur spectral d'absorption de la deuxième feuille mesuré dans la direction du rayonnement incident et donné par la relation

$$\alpha_2(\lambda) = 1 - \tau_2(\lambda) - \rho_2(\lambda) \quad \dots(18)$$

NOTE — La conductance thermique  $\Lambda$  est déterminée par la méthode de calcul chaque fois que ceci est possible, ou par des méthodes de mesure (par exemple la méthode de la plaque chaude gardée [1]). Des Normes internationales correspondantes sont en préparation. Il convient d'effectuer les déterminations avec l'échantillon en position verticale, la différence de température entre les faces de l'échantillon étant de 15 °C. Les valeurs sont fournies pour une température moyenne de l'échantillon de 10 °C. Des écarts dans ces températures influencent peu la valeur de  $q_i$ .

#### 2.4.6.4 Triple vitrage

Le facteur de réémission thermique vers l'intérieur,  $q_i$ , du triple vitrage est calculé à partir de la relation suivante :

$$q_i = \left( \frac{\alpha_{e3}}{\Lambda_{23}} + \frac{\alpha_{e3} + \alpha_{e2}}{\Lambda_{12}} + \frac{\alpha_{e3} + \alpha_{e2} + \alpha_{e1}}{h_e} \right) / \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{\Lambda_{12}} + \frac{1}{\Lambda_{23}} \right) \quad \dots(19)$$

où

$\alpha_{e1}$  est le facteur d'absorption directe de l'énergie solaire de la feuille extérieure dans le triple vitrage;

$\alpha_{e2}$  est le facteur d'absorption directe de l'énergie solaire de la deuxième feuille dans le triple vitrage;

$\alpha_{e3}$  est le facteur d'absorption directe de l'énergie solaire de la troisième feuille dans le triple vitrage;

$\Lambda_{12}$  est la conductance thermique entre la feuille extérieure et la deuxième feuille;

$\Lambda_{23}$  est la conductance thermique entre la deuxième feuille et la troisième feuille.

Les facteurs  $\alpha_{e1}$ ,  $\alpha_{e2}$  et  $\alpha_{e3}$  sont calculés à partir des relations suivantes :

$$\alpha_{e1} = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \left\{ \alpha_1(\lambda) + \frac{\tau_1(\lambda)\alpha'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)[1 - \rho'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)] + \tau_1(\lambda)\tau_2^2(\lambda)\alpha'_1(\lambda)\rho_3(\lambda)}{[1 - \rho'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)] \times [1 - \rho'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda)\rho'_1(\lambda)\rho_3(\lambda)} \right\} d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \quad \dots(20)$$

$$\alpha_{e2} = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \frac{\tau_1(\lambda)\alpha_2(\lambda)[1 - \rho'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)] + \tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)\alpha'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)}{[1 - \rho'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)] \times [1 - \rho'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda)\rho'_1(\lambda)\rho_3(\lambda)} d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \quad \dots(21)$$

$$\alpha_{e3} = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \frac{\tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)\alpha_3(\lambda)}{[1 - \rho'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)] \times [1 - \rho'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda)\rho'_1(\lambda)\rho_3(\lambda)} d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \quad \dots(22)$$

où

$\alpha_1(\lambda)$ ,  $\alpha'_1(\lambda)$  et  $\alpha_2(\lambda)$  sont définis en 2.4.6.3;

$\alpha'_2(\lambda)$  est le facteur spectral d'absorption de la deuxième feuille mesuré dans la direction opposée au rayonnement incident et donné par la relation

$$\alpha'_2(\lambda) = 1 - \tau_2(\lambda) - \rho'_2(\lambda) \quad \dots(23)$$



$\alpha_3(\lambda)$  est le facteur spectral d'absorption de la troisième feuille mesuré dans la direction du rayonnement incident et donné par la relation

$$\alpha_3(\lambda) = 1 - \tau_3(\lambda) - \rho_3(\lambda) \quad \dots(24)$$

Les conductances thermiques  $A_{12}$  et  $A_{23}$  sont déterminées conformément à la note en 2.4.6.3.

**2.4.7 Énergie solaire totale transmise**

L'énergie solaire totale transmise dans le local par unité de surface,  $\phi_{ei}$ , est donnée par la relation suivante :

$$\phi_{ei} = \phi_e g \quad \dots(25)$$

où  $\phi_e$  est le flux du rayonnement solaire incident. Les valeurs de  $\phi_e$  peuvent être trouvées dans des publications météorologiques.

**2.4.8 Transfert thermique additionnel**

Si les températures intérieure  $T_i$  et extérieure  $T_o$  sont différentes, un transfert thermique a lieu en supplément de  $\phi_{ei}$ . Ce transfert,  $q_z$ , indépendant du rayonnement solaire, est calculé à partir de la relation suivante :

$$q_z = U (T_o - T_i) \quad \dots(26)$$

où  $U$  est le coefficient de transmission thermique du vitrage.

**2.5 Facteur de transmission du rayonnement solaire ultraviolet**

Dans le domaine de l'ultraviolet, le rayonnement solaire ne concerne que les régions UVB (280 nm à 315 nm) et UVA (315 nm à 380 nm). Une distribution spectrale standard a été établie pour cette partie du rayonnement solaire (voir [9]). Le tableau 4 donne les valeurs de  $U_\lambda \Delta\lambda$  par intervalles de 5 nm dans les régions UVA et UVB. Ces valeurs relatives sont telles que  $\sum U_\lambda \Delta\lambda = 1$  pour tout le domaine de l'ultraviolet.

Le facteur de transmission du rayonnement solaire ultraviolet,  $\tau_{UV}$ , est calculé à partir de la relation suivante :

$$\tau_{UV} = \frac{\int_{\lambda=280 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} U_\lambda \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=280 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} U_\lambda d\lambda} \approx \frac{\sum_{\lambda=280 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} U_\lambda \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=280 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} U_\lambda \Delta\lambda} \quad \dots(27)$$

où  $\tau(\lambda)$  est le facteur spectral de transmission du vitrage (voir 2.2).

NOTE — Si l'on doit fournir des informations sur la transmission du rayonnement solaire ultraviolet d'un vitrage, il est suffisant, dans la plupart des cas, de donner le facteur  $\tau_{UV}$  correspondant au rayonnement total ultraviolet du rayonnement solaire global. Ce n'est que dans des cas spéciaux qu'il y aurait intérêt à déterminer les deux facteurs de transmission correspondant aux deux régions UVA et UVB.

**2.6 Rendu des couleurs**

Le rendu des couleurs observées sous la lumière du jour transmise par un vitrage est représenté par l'indice général de rendu

des couleurs,  $R_a$ . Son calcul est effectué selon la méthode des couleurs-tests établie par la Commission internationale d'éclairage et destinée à déterminer les propriétés des sources lumineuses relatives au rendu des couleurs. (Voir [2]).

La détermination de l'indice général de rendu des couleurs par transmission,  $R_a$ , est effectuée en utilisant l'illuminant  $D_{65}$  comme référence et la distribution spectrale relative du rayonnement,  $D_\lambda \tau(\lambda)$ , comme celle de l'illuminant à tester.

La valeur maximale que peut atteindre  $R_a$  est 100. Cette valeur est atteinte lorsque la transmission spectrale du vitrage est constante dans tout le spectre visible.

En technique d'éclairage, les indices  $R_a$  supérieurs à 90 caractérisent un très bon rendu et les indices supérieurs à 80, un bon rendu des couleurs.

**Tableau 1 — Produit de la distribution spectrale relative,  $D_\lambda$ , de l'illuminant  $D_{65}$  par l'efficacité spectrale lumineuse relative photopique,  $V(\lambda)$ , et par la largeur de bande spectrale,  $\Delta\lambda$**

$\lambda$ nm	$D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda$	$\lambda$ nm	$D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda$
380	0,000 0	580	7,899 4
390	0,000 5	590	6,330 6
400	0,003 0	600	5,354 2
410	0,010 3	610	4,249 1
420	0,035 2	620	3,150 2
430	0,094 8	630	2,081 2
440	0,227 4	640	1,381 0
450	0,419 2	650	0,807 0
460	0,666 3	660	0,461 2
470	0,985 0	670	0,248 5
480	1,518 9	680	0,125 5
490	2,133 6	690	0,053 6
500	3,349 1	700	0,027 6
510	5,139 3	710	0,014 6
520	7,052 3	720	0,005 7
530	8,799 0	730	0,003 5
540	9,442 7	740	0,002 1
550	9,807 7	750	0,000 8
560	9,430 6	760	0,000 1
570	8,689 1	770	0,000 0
		780	0,000 0

**Tableau 2 — Produit de la distribution spectrale du rayonnement solaire global (direct et diffus),  $S_\lambda$  (voir [5]), pour une masse d'air 1 par la largeur de bande spectrale,  $\Delta\lambda$**

$\lambda$ nm	$S_\lambda \Delta\lambda$	$\lambda$ nm	$S_\lambda \Delta\lambda$
300	0,005	700	0,046
340	0,024	740	0,041
380	0,032	780	0,037
420	0,050	900	0,139
460	0,065	1 100	0,097
500	0,063	1 300	0,058
540	0,058	1 500	0,039
580	0,054	1 700	0,026
620	0,055	1 900	0,018
660	0,049	2 500	0,044



**Tableau 3 — Produit de la distribution spectrale relative du rayonnement solaire direct,  $S_\lambda$ , selon P. Moon [8] pour une masse d'air 2 par la largeur de bande spectrale,  $\Delta\lambda$**

$\lambda$ nm	$S_\lambda\Delta\lambda$	$\lambda$ nm	$S_\lambda\Delta\lambda$
350	0,012 8	1 250	0,024 7
400	0,035 3	1 300	0,018 5
450	0,066 5	1 350	0,002 6
500	0,081 3	1 400	0,000 1
550	0,080 2	1 450	0,001 6
600	0,078 8	1 500	0,010 3
650	0,079 1	1 550	0,014 8
700	0,069 4	1 600	0,013 6
750	0,059 5	1 650	0,011 8
800	0,056 6	1 700	0,008 9
850	0,056 4	1 750	0,005 1
900	0,030 3	1 800	0,000 3
950	0,029 1	1 850	0,000 0
1 000	0,042 6	1 900	0,000 0
1 050	0,037 7	1 950	0,001 3
1 100	0,019 9	2 000	0,001 3
1 150	0,014 5	2 050	0,003 8
1 200	0,025 6	2 100	0,005 8

**Tableau 4 — Produit de la distribution spectrale relative du rayonnement solaire global,  $U_\lambda$ , dans la région UV par la largeur de bande spectrale,  $\Delta\lambda$**

$\lambda$ nm	$U_\lambda\Delta\lambda$
282,5	0,000 00
287,5	0,000 00
292,5	0,000 00
297,5	0,000 82
302,5	0,004 61
307,5	0,013 73
312,5	0,027 46
317,5	0,041 20
322,5	0,055 91
327,5	0,065 72
332,5	0,070 62
337,5	0,072 58
342,5	0,074 54
347,5	0,076 01
352,5	0,077 00
357,5	0,078 96
362,5	0,080 43
367,5	0,083 37
372,5	0,086 31
377,5	0,090 73

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
(standards.iteh.ai)

ISO 9050:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/86ae7866-8e19-4475-ae1d-efd853b8208c/iso-9050-1990>