

NORME  
INTERNATIONALE

**ISO**  
**10292**

Première édition  
1994-07-15

---

---

**Verre dans la construction — Calcul du  
coefficient de transmission thermique  $U$ ,  
en régime stationnaire des vitrages**

**multiple**  
**(standards.iteh.ai)**

*Glass in building — Calculation of steady-state  $U$  values (thermal  
transmittance) of multiple glazing*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ce3ebde6-4338-4eaa-ba34-99a169bc1a9c/iso-10292-1994>



Numéro de référence  
ISO 10292:1994(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 vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 10292 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 160, *Verre dans la construction*, sous-comité SC 2, *Utilisation*.

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

© ISO 1994

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 — Calcul du coefficient de transmission thermique $U$ , en régime stationnaire des vitrages multiples

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale est applicable au verre, au verre recouvert d'une couche et aux matériaux opaques au rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde. Elle a pour objet de présenter les règles fondamentales pour le calcul du coefficient de transmission thermique,  $U$ <sup>1)</sup>, dans la zone centrale du vitrage. Les effets de bord dus au pont thermique de l'intercalaire d'un vitrage isolant préfabriqué, ou du châssis de fenêtre, ne sont pas inclus.

Ces règles ont pour but de permettre l'évaluation des déperditions à travers le vitrage d'un bâtiment, en se basant sur les valeurs de  $U$  des vitrages. Combinées avec les déperditions à travers les éléments opaques du bâtiment, elles sont utilisées pour déterminer la capacité de l'installation de chauffage ou de refroidissement.

De plus, les valeurs de  $U$  peuvent être calculées dans d'autres buts en utilisant la même procédure, en particulier pour la détermination des caractéristiques suivantes:

- les gains de chaleur par conduction en été;
- la condensation sur les surfaces des vitrages;
- les déperditions saisonnières par les vitrages intervenant dans la détermination de la consommation globale d'énergie dans les bâtiments;

1) Dans certains pays, le symbole  $k$  est utilisé.

d) l'appréciation du rayonnement absorbé pour la détermination du facteur solaire.

Les règles ont été établies de manière aussi simple que possible, tout en restant précises.

## 2 Définition

Pour les besoins de la présente Norme internationale, la définition suivante s'applique.

**2.1 coefficient de transmission thermique d'un vitrage,  $U$ :** Grandeur qui caractérise le transfert thermique par la partie centrale du vitrage sans tenir compte des effets de bords et donne la quantité de chaleur la traversant, en régime stationnaire, par unité de surface et pour une différence de température unitaire entre les ambiances situées de part et d'autre des faces du vitrage. Le coefficient  $U$  s'exprime en watts par mètre carré kelvin [ $W/(m^2 \cdot K)$ ].

### 3 Symboles et indices

#### 3.1 Symboles

Symbole	Grandeur	Unité
$A$	Constante	—
$c$	Capacité thermique massique d'un gaz	J/(kg·K)
$d$	Épaisseur des feuilles de verre (ou d'un autre matériau de vitrage)	m
$Gr$	Nombre de Grashof	Sans dimension
$h$	Coefficient de transfert thermique superficiel	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$h$	Conductance	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$N$	Nombre de lames de gaz	—
$Nu$	Nombre de Nusselt	Sans dimension
$Pr$	Nombre de Prandtl	Sans dimension
$r$	Résistivité thermique du verre (ou d'un autre matériau de vitrage)	m·K/W
$R_n$	Facteur de réflexion à incidence normale	—
$s$	Épaisseur de la lame de gaz	m
$T$	Température absolue	K
$\Delta T$	Différence de température	K
$U$	Coefficient de transmission thermique	W/(m <sup>2</sup> ·K)
$v$	Vitesse du vent	m/s
$\varepsilon$	Émissivité corrigée	—
$\varepsilon_n$	Émissivité à incidence normale (perpendiculaire à la surface)	—
$\vartheta$	Température	°C
$\lambda$	Conductivité thermique du gaz dans l'espace	W/(m·K)
$\lambda$	Longueur d'onde	μm
$\mu$	Viscosité dynamique du gaz	kg/(m·s)
$\rho$	Masse volumique du gaz	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma$	Constante de Stefan Boltzmann (= 5,67 × 10 <sup>-8</sup> )	W/(m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> )

#### 3.2 Indices

Indice	
c	Convection
g	Gaz
e	Extérieur
i	Intérieur
m	Moyenne
n	Normale
r	Rayonnement
s	Espace
t	Total
1, 2, ...	Premier, deuxième, etc.

### 4 Formules de base

#### 4.1 Généralités

La méthode prescrite dans la présente Norme internationale est basée sur un calcul à partir de principes fondamentaux suivants:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_t} + \frac{1}{h_i} \quad \dots (1)$$

où

$h_e$  et  $h_i$  sont les coefficients de transfert thermique superficiel extérieur et intérieur, respectivement;

$h_t$  est la conductance du vitrage multiple.

$$\frac{1}{h_t} = \sum^N \frac{1}{h_s} + \sum^M d_m r_m \quad \dots (2)$$

où

$h_s$  est la conductance thermique de la lame de gaz;

$N$  est le nombre de lames de gaz;

$M$  est le nombre de matériaux;

$d_m$  est l'épaisseur totale de chaque matériau;

$r_m$  est la résistivité thermique de chaque matériau (la résistivité thermique du verre est égale à 1 m·K/W).

$$h_s = h_g + h_r \quad \dots (3)$$

où

$h_r$  est la conductance thermique radiative de la lame;

$h_g$  est la conductance thermique du gaz (conduction + convection).

## 4.2 Conductance radiative, $h_r$ (standards.iteh.ai)

La conductance radiative est donnée par la formule suivante:

$$h_r = 4\sigma \left( \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)^{-1} \cdot T_m^3 \quad \dots (4)$$

où

$\sigma$  est la constante de Stefan Boltzmann;

$\varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$  sont les émissivités corrigées à la température moyenne absolue  $T_m$  de la lame de gaz.

## 4.3 Conductance du gaz, $h_g$

La conductance du gaz est donnée par la formule suivante:

$$h_g = Nu \frac{\lambda}{s} \quad \dots (5)$$

où

$s$  est l'épaisseur de la lame de gaz, en mètres (m);

$\lambda$  est la conductivité thermique du gaz, en watts par mètre kelvin [W/(m·K)];

$Nu$  est le nombre du Nusselt, donné par

$$Nu = A(Gr \cdot Pr)^n \quad \dots (6)$$

où

$A$  est une constante,

$Gr$  est le nombre de Grashof,

$Pr$  est le nombre de Prandtl,

$n$  est un exposant,

$$Gr = \frac{9,81 s^3 \Delta T \rho^2}{T_m \mu^2} \quad \dots (7)$$

$$Pr = \frac{\mu c}{\lambda} \quad \dots (8)$$

où

$\Delta T$  est la différence de température des surfaces des verres de part et d'autre de la lame de gaz, en kelvins (K),

$\rho$  est la masse volumique du gaz, en kilogrammes par mètre cube (kg/m<sup>3</sup>),

$\mu$  est la viscosité dynamique du gaz, en kilogrammes par mètre seconde [kg/(m·s)],

$c$  est la capacité thermique massique du gaz, en joules par kilogramme kelvin [J/(kg·K)],

$T_m$  est la température moyenne absolue du gaz, en kelvins (K).

Pour les lames verticales, le nombre de Nusselt est calculé à partir de la formule (6) avec  $A = 0,035$  et  $n = 0,38$ , en tenant compte de la condition suivante (voir aussi réf. [1]).

Si  $Nu \leq 1$ , on utilise une valeur de  $Nu = 1$  dans la formule (5), ce qui correspond à une valeur de  $Gr \cdot Pr$  inférieure à 6 800. Si  $Nu > 1$ , la valeur réelle de  $Nu$  est utilisée dans la formule (5), correspondant à un régime avec convection.

## 5 Propriétés fondamentales des matériaux

### 5.1 Émissivité

Les émissivités corrigées,  $\varepsilon$ , des surfaces limitant les espaces fermés sont nécessaires pour le calcul de la conductance radiative,  $h_r$ , dans la formule (4).

Pour les surfaces en verre, on utilise 0,837 comme valeur de l'émissivité corrigée.

Pour des surfaces recouvertes de couches, la valeur de l'émissivité à incidence normale,  $\varepsilon_n$ , est obtenue par mesure à l'aide d'un spectromètre infrarouge (voir A.1 dans l'annexe A).

L'émissivité corrigée est obtenue à partir du tableau A.2 de l'annexe A. La température moyenne de la lame de gaz,  $T_m$ , est fixée à 283 K, dans un but de comparaison.

NOTE 1 Théoriquement il convient d'utiliser deux définitions différentes de l'émissivité pour décrire les échanges radiatifs entre

- des surfaces vitrées se faisant face, dans les vitrages multiples, ou
- entre une surface vitrée et l'ambiance intérieure d'un local.

Les différences entre les deux types d'échange se révèlent cependant négligeables en pratique. En conséquence, l'émissivité corrigée peut être utilisée dans les deux cas avec une approximation suffisante.

## 5.2 Propriétés des gaz

Les propriétés suivantes des gaz remplissant l'espace doivent être connues:

- a) la conductivité thermique,  $\lambda$  [W/(m·K)];
- b) la masse volumique,  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>);
- c) la viscosité dynamique,  $\mu$  [kg/m·s];
- d) la capacité thermique massique,  $c$  [J/(kg·K)].

Les valeurs adéquates sont introduites dans les formules (7) et (8) pour obtenir les nombres de Grashof et de Prandtl, et le nombre de Nusselt est ensuite obtenu par la formule (6).

Si le nombre de Nusselt est supérieur à 1, cela signifie qu'il y a de la convection qui augmente l'importance du flux de chaleur.

Si le nombre de Nusselt est inférieur ou égal à 1, cela signifie que le flux de chaleur s'effectue uniquement par conduction, et on attribue la valeur limite de 1 au nombre de Nusselt.

La substitution de  $Nu$  dans la formule (5) donne la valeur de la conductance du gaz,  $h_g$ .

Des valeurs pour les propriétés d'une série de gaz utilisés en vitrages isolants préfabriqués sont données au tableau A.3 de l'annexe A.

Pour les mélanges de gaz, les propriétés sont obtenues par pondération proportionnelle aux rapports des volumes.

Si on a

- un gaz 1 avec un rapport de volume  $R_1$ ,
- un gaz 2 avec un rapport de volume  $R_2$ , etc.,

alors

$$F = F_1 R_1 + F_2 R_2 + \dots \quad \dots (9)$$

où  $F$  représente la propriété concernée, c'est-à-dire, la conductivité thermique, la masse volumique, la viscosité ou la capacité thermique massique.

## 5.3 Absorption infrarouge

Certains gaz absorbent le rayonnement infrarouge dans le domaine de longueurs d'onde de 5  $\mu\text{m}$  à 50  $\mu\text{m}$ .

Lorsqu'un tel gaz est utilisé en combinaison avec un verre à couche à basse émissivité ( $\varepsilon < 0,2$ ), cet effet est négligé étant donné la faible densité du flux radiatif infrarouge résultant.

Pour les autres cas, la valeur de  $U$  doit être déterminée par mesure si on estime qu'une amélioration du coefficient  $U$  peut provenir d'une absorption par le gaz.

## 5.4 Vitrage horizontal ou incliné

Pour un courant thermique ascendant, le transfert thermique par convection est amplifié.

On peut tenir compte de cet effet en substituant les valeurs suivantes de  $A$  et  $n$  dans la formule (6) (voir aussi réf. [1]):

$$A = 0,16 \quad n = 0,28 \quad \text{pour les lames horizontales}$$

$$A = 0,10 \quad n = 0,31 \quad \text{pour des lames à } 45^\circ$$

Pour un flux thermique descendant, la convection peut être considérée, en pratique, comme supprimée et  $Nu = 1$  est introduit dans la formule (5).

## 6 Coefficients d'échange thermique superficiel extérieur et intérieur

### 6.1 Coefficient d'échange thermique superficiel extérieur, $h_e$

Le coefficient d'échange thermique superficiel extérieur,  $h_e$ , en watts par mètre carré kelvin [W/(m<sup>2</sup>·K)], est fonction de la vitesse du vent,  $v$ , près du vitrage et il peut être obtenu par la formule approximative suivante:

$$h_e = 10,0 + 4,1v \quad \dots (10)$$

où  $v$  est la vitesse du vent, en mètres par seconde (m/s).

La valeur de  $h_e$  est normalisée à 23 W/(m<sup>2</sup>·K) lorsqu'on doit comparer les valeurs de  $U$  de vitrages.

NOTE 2 La valeur réciproque  $1/h_e$ , exprimée avec deux chiffres significatifs, est égale à 0,04 m<sup>2</sup>·K/W.

Cette procédure ne tient pas compte de l'amélioration de la valeur de  $U$  due à la présence d'une couche sur la surface extérieure du vitrage qui aurait pour effet de modifier l'émissivité du verre.

Si une autre valeur de  $h_e$  est utilisée pour répondre à des conditions expérimentales particulières, elle doit être mentionnée dans le rapport.

### 6.2 Coefficient d'échange thermique superficiel intérieur, $h_i$

Le coefficient d'échange thermique superficiel intérieur,  $h_i$ , en watts par mètre carré kelvin [W/(m<sup>2</sup>·K)], est donné par la formule suivante:

$$h_i = h_r + h_c \quad \dots (11)$$

où

$h_r$  est la conductance thermique radiative;

$h_c$  est la conductance par convection.

La conductance radiative pour des surfaces de verre normal est de 4,4 W/(m<sup>2</sup>·K). Lorsque la surface intérieure du vitrage est caractérisée par une basse valeur d'émissivité, la conductance radiative est donnée par la formule suivante:

$$h_r = 4,4\varepsilon/0,837 \quad \dots (12)$$

où  $\varepsilon$  est l'émissivité corrigée de la surface recouverte d'une couche (0,837 est l'émissivité corrigée du verre clair non traité).

Cette formule n'est applicable que lorsqu'il n'y a pas de condensation sur la surface recouverte d'une couche. La relation entre l'émissivité corrigée et l'émissivité à incidence normale d'une couche est donnée au tableau A.2 de l'annexe A.

La valeur de  $h_c$  est de 3,6 W/(m<sup>2</sup>·K) pour une convection libre. Lorsqu'un chauffage par éjecto-convection est placé en dessous ou au-dessus d'une fenêtre, cette valeur devient plus élevée si le courant d'air est soufflé sur la fenêtre.

Pour des surfaces verticales en verre non traité et une convection libre:

$$h_i = 4,4 + 3,6 = 8,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)} \quad \dots (13)$$

Cette valeur est la valeur normalisée lorsqu'on désire comparer les valeurs de  $U$  de vitrages.

NOTE 3 La valeur réciproque  $1/h_i$ , exprimée avec deux chiffres significatifs, est égale à 0,13 m<sup>2</sup>·K/W.

Si une autre valeur de  $h_i$  est utilisée pour répondre à des conditions expérimentales particulières, elle doit être mentionnée dans le rapport.

Pour des vitrages non verticaux, le coefficient  $h_i$  est supérieur pour un flux thermique ascendant et plus faible pour un flux thermique descendant.

NOTE 4 Des valeurs de  $\varepsilon$  inférieures à 0,837, obtenues grâce à des couches ayant une réflexion plus élevée dans l'infrarouge lointain, ne peuvent être utilisées que si la condensation sur la surface recouverte peut être exclue.

## 7 Valeurs de référence

Les valeurs de référence des principaux paramètres sont les suivants:

Résistivité du verre	$r = 1 \text{ m}\cdot\text{K/W}$
Émissivité corrigée d'une surface de verre non traité	$\varepsilon = 0,837$
Différence en température des deux surfaces extérieures de vitrage	$\Delta T = 15 \text{ K}$
Température moyenne du vitrage	$T_m = 283 \text{ K}$
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\cdot\text{K}^4)$
Coefficient d'échange superficiel extérieur	$h_e = 23 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
Coefficient d'échange superficiel intérieur	$h_i = 8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

Les propriétés des gaz sont données au tableau A.3 de l'annexe A.

Les valeurs de  $U$  doivent être exprimées en watts par mètre carré kelvin [ $W/(m^2 \cdot K)$ ], avec une seule décimale.

NOTE 5 Dans le cas d'un vitrage comportant plus d'une lame de gaz, il convient de rechercher les températures moyennes et les différences de températures par itération.

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

ISO 10292:1994

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ce3ebde6-4338-4eaa-ba34-99a169bc1a9c/iso-10292-1994>



## Annexe A (normative)

### Détermination de l'émissivité et propriétés des gaz

#### A.1 Détermination de l'émissivité à incidence normale, $\varepsilon_n$

L'émissivité selon la normale,  $\varepsilon_n$ , d'une couche est obtenue à partir de sa courbe spectrale de réflexion à incidence normale, mesurée à l'aide d'un réflectomètre infrarouge, en utilisant la procédure suivante.

Le facteur de réflexion selon la normale,  $R_n$ , pour une température de 283 K est déterminé à partir des facteurs spectraux de réflexion,  $R_n(\lambda_i)$ ; on prend la moyenne arithmétique des facteurs spectraux de réflexion,  $R_n(\lambda_i)$ , mesurés à 30 longueurs d'onde données au tableau A.1:

$$R_n = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} R_n(\lambda_i) \quad (\text{A.1})$$

L'émissivité à incidence normale,  $\varepsilon_n$ , à 283 K<sup>2)</sup> est donnée par:

$$\varepsilon_n = 1 - R_n \quad \dots (\text{A.2})$$

#### A.2 Détermination de l'émissivité corrigée, $\varepsilon$

L'émissivité corrigée,  $\varepsilon$ , est obtenue en multipliant l'émissivité à incidence normale  $\varepsilon_n$  par le facteur donné dans le tableau A.2.

#### A.3 Propriétés des gaz

Les propriétés utiles des gaz utilisés dans les vitrages isolants préfabriqués commercialisés sont données dans le tableau A.3.

**Tableau A.1 — Longueurs d'onde utilisées dans la détermination du facteur de réflexion à incidence normale,  $R_n$ , à 283 K**

Valeurs en micromètres

N°	Longueur d'onde	N°	Longueur d'onde
1	5,5	16	14,8
2	6,7	17	15,6
3	7,4	18	16,3
4	8,1	19	17,2
5	8,6	20	18,1
6	9,2	21	19,2
7	9,7	22	20,3
8	10,2	23	21,7
9	10,7	24	23,3
10	11,3	25	25,2
11	11,8	26	27,7
12	12,4	27	30,9
13	12,9	28	35,7
14	13,5	29	43,9
15	14,2	30	50,0 <sup>1) 2)</sup>

1) 50  $\mu\text{m}$  est choisi parce que cette longueur d'onde est la limite des spectromètres infrarouges commerciaux habituels. Cette approximation n'a qu'un effet négligeable sur l'exactitude du calcul.

2) Si le spectromètre utilisé ne permet pas l'obtention des valeurs de réflexion aux longueurs d'onde supérieures à 25  $\mu\text{m}$ , les valeurs manquantes de  $R_n(\lambda_i)$  peuvent être remplacées par la dernière valeur disponible. Cette procédure n'est valable que si la courbe de réflexion spectrale est raisonnablement constante; elle doit être indiquée dans le rapport si elle est utilisée. Cette faculté est valable pendant cinq ans, à dater de la parution de la présente Norme internationale.

2) L'émissivité pour d'autres températures ambiantes ne varie pas beaucoup avec la température moyenne.