

NORME
INTERNATIONALE

ISO
9288

Première édition
1989-12-01

**Isolation thermique — Transfert de chaleur par
rayonnement — Grandeurs physiques et
définitions**

iTeh STANDARD PREVIEW

*Thermal insulation — Heat transfer by radiation — Physical quantities and
definitions*
(standards.iteh.ai)

ISO 9288:1989

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0347ad92-f7c1-48fc-938a-16ea2c21c020/iso-9288-1989>



Numéro de référence
ISO 9288 : 1989 (F)

Sommaire

	Page
Avant-propos	iii
Introduction	iv
1 Domaine d'application	1
2 Référence normative	1
3 Termes généraux	1
4 Termes liés à des surfaces recevant, transmettant ou émettant un rayonnement thermique	2
5 Termes liés aux surfaces émettant un rayonnement thermique	4
6 Termes liés aux surfaces opaques ou semi-transparentes recevant un rayonnement thermique	6
7 Termes liés à un milieu semi-transparent recevant un rayonnement thermique — Transfert de chaleur par conduction et rayonnement combinés	9

Annexe

A Bibliographie	16
Index alphabétique	17

© ISO 1989

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

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.

La Norme internationale ISO 9288 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 163, *Isolation thermique*.

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0347ad92-f7c1-48fc-938a-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0347ad92-f7c1-48fc-938a-16ea2c21c020/iso-9288-1989)

[16ea2c21c020/iso-9288-1989](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0347ad92-f7c1-48fc-938a-16ea2c21c020/iso-9288-1989)
L'annexe A de la présente Norme internationale est donnée uniquement à titre d'information.

Introduction

La présente Norme internationale fait partie d'une série de vocabulaires de l'isolation thermique.

La série comportera

ISO 7345 : 1987, *Isolation thermique — Grandeurs physiques et définitions.*

ISO 9229 : —¹⁾, *Isolation thermique — Matériaux et produits isolants — Vocabulaire.*

ISO 9251 : 1987, *Isolation thermique — Conditions de transfert thermique et propriétés des matériaux — Vocabulaire.*

ISO 9346 : 1987, *Isolation thermique — Transfert de masse — Grandeurs physiques et définitions.*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0347ad92-f7c1-48fc-938a-16ea2c21c020/iso-9288-1989>

1) A publier.

Isolation thermique — Transfert de chaleur par rayonnement — Grandeurs physiques et définitions

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale définit des grandeurs physiques et d'autres termes du domaine de l'isolation thermique liés au transfert de chaleur par rayonnement.

2 Référence normative

La norme suivante contient des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur cette Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente de la norme indiquée ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 7345 : 1987, *Isolation thermique — Grandeurs physiques et définitions*.

3 Termes généraux

3.1 rayonnement thermique: Rayonnement électromagnétique émis à la surface d'un corps opaque ou à l'intérieur d'un élément de volume semi-transparent.

Le rayonnement thermique dépend de la température du corps émetteur et de ses caractéristiques radiatives. Il est intéressant du point de vue thermique lorsque la gamme des longueurs d'onde tombe entre $0,1 \mu\text{m}$ et $100 \mu\text{m}$ (voir figure 1).

3.2 transfert de chaleur par rayonnement: Échange d'énergie entre des corps (individuels) par des ondes électromagnétiques.

Cet échange peut se produire lorsque les corps sont séparés les uns des autres par un vide ou par un milieu transparent ou semi-transparent. Pour pouvoir évaluer cet échange de chaleur par rayonnement, il est nécessaire de savoir de quelle manière les corps opaques et semi-transparents émettent, absorbent et transmettent le rayonnement en fonction de leur nature, position et température relatives.

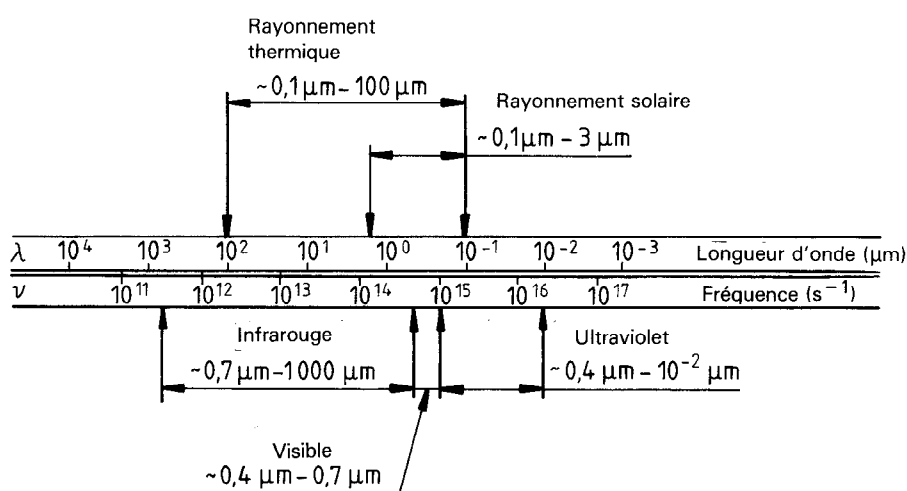


Figure 1 — Spectre d'ondes électromagnétiques

3.3 Classification des termes physiques associés au rayonnement thermique

Les termes physiques liés au rayonnement thermique sont classifiés en fonction des deux critères suivants :

- la répartition spectrale
- la répartition spatiale (directionnelle)

du rayonnement.

Ces termes physiques sont les suivants :

total, lorsqu'ils sont liés au spectre du rayonnement thermique dans son ensemble (cette désignation peut être considérée comme implicite);

spectral ou monochromatique, lorsqu'ils sont liés à un intervalle spectral centré sur la longueur d'onde λ ;

hémisphérique, lorsqu'ils sont liés à toutes les directions dans lesquelles un élément de surface peut émettre ou recevoir un rayonnement;

directionnel, lorsqu'ils sont liés aux directions de propagation définies par un angle solide entourant la direction définie.

3.4 Classification des matériaux en relation avec le transfert radiatif

milieu opaque: Milieu ne transmettant aucune fraction du rayonnement incident.

L'absorption, l'émission, la réflexion du rayonnement peuvent être traitées comme des phénomènes de surface.

milieu semi-transparent: Milieu atténuant progressivement le rayonnement incident à l'intérieur d'un matériau, soit par absorption, soit par diffusion, soit par les deux en même temps.

L'absorption, la diffusion et l'émission de rayonnement sont des phénomènes de volume.

Les propriétés radiatives d'un milieu opaque ou semi-transparent sont en général fonction de la distribution spectrale et directionnelle du rayonnement incident, ainsi que de la température du milieu.

NOTE — En règle générale, les matériaux d'isolation sont des milieux semi-transparentes.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

4 Termes liés à des surfaces recevant, transmettant ou émettant un rayonnement thermique

ISO 9288:1989

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0347ad92-f7c1-48fc-938a-16ca2c21c020/iso-9288-1989>

4.1 flux de rayonnement: Flux émis, transmis ou reçu par un système sous forme d'ondes électromagnétiques.

NOTE — Il s'agit d'une grandeur hémisphérique totale.

4.2 intensité totale: Quotient du flux de rayonnement par l'angle solide entourant la direction $\vec{\Delta}$:

$$I_{\Omega} = \frac{\partial \Phi}{\partial \Omega}$$

4.3 luminance totale: Flux de rayonnement divisé par l'angle solide entourant la direction $\vec{\Delta}$ et l'aire projetée sur un plan perpendiculaire à cette direction :

$$L_{\Omega} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \Omega \partial (A \cos \theta)}$$

4.4 flux de rayonnement spectral: Quotient du flux de rayonnement par l'intervalle spectral centré sur la longueur d'onde λ :

$$\Phi_{\lambda} = \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda}$$

4.5 intensité spectrale: Quotient de l'intensité totale par l'intervalle spectral centré sur la longueur d'onde λ :

$$I_{\Omega\lambda} = \frac{\partial I_{\Omega}}{\partial \lambda}$$

Symbole de la grandeur	Symbole de l'unité SI (y compris multiple ou sous-multiple)
Φ	W
I_{Ω}	W/sr
L_{Ω}	W/(m ² ·sr)
Φ_{λ}	W/m W/μm
$I_{\Omega\lambda}$	W/(sr·m) W/(sr·μm)

4.6 luminance spectrale: Quotient de la luminance totale par l'intervalle spectral centré sur la longueur d'onde λ :

$$L_{\Omega\lambda} = \frac{\partial L_{\Omega}}{\partial \lambda}$$

NOTES

1 Chaque terme spectral A_{λ} est lié au terme total A correspondant par une relation du type

$$A_{\lambda} = \frac{\partial A}{\partial \lambda} \text{ ou } A = \int_0^{\infty} A_{\lambda} d\lambda$$

Chaque terme directionnel A_{Ω} est lié au terme hémisphérique A correspondant par une relation du type

$$A_{\Omega} = \frac{\partial A}{\partial \Omega} \text{ ou } A = \int_{\Omega=4\pi} A_{\Omega} d\Omega$$

et

$$A_{\Omega\lambda} = \frac{\partial^2 A}{\partial \Omega \partial \lambda} \text{ ou } A = \int_{\Omega=4\pi} \int_0^{\infty} A_{\Omega\lambda} d\lambda d\Omega$$

2 La luminance totale et la luminance spectrale sont des grandeurs orientées (vecteurs) définies en tout point de l'espace où le rayonnement existe (voir figure 3). De plus, leurs valeurs sont indépendantes de la surface spécifique utilisée pour les définir. Des sources rayonnant avec L_{Ω} constante (voir 4.3) sont appelées **isotropes** ou **diffuses**.

Les intensités elles aussi sont des grandeurs orientées, mais sont associées à une surface (voir figure 2).

Les flux de rayonnement (totaux ou spectraux) ne sont pas des grandeurs orientées et sont associés à une surface.

4.7 vecteur densité spectrale de flux de rayonnement:

$$\vec{q}_{r,\lambda} = \int_{\Omega=4\pi} L_{\Omega\lambda} \vec{\Delta} d\Omega$$

4.8 vecteur densité totale de flux de rayonnement:

$$\vec{q}_r = \int_0^{\infty} \int_{\Omega=4\pi} L_{\Omega\lambda} \vec{\Delta} d\Omega d\lambda$$

4.9 densité spectrale de flux de rayonnement (dans la direction \vec{n}):

$$q_{r,\lambda n} = \vec{n} \cdot \vec{q}_{r,\lambda} = \int_{\Omega=4\pi} L_{\Omega\lambda} \vec{\Delta} \cdot \vec{n} d\Omega$$

Symbole de la grandeur	Symbole de l'unité SI (y compris multiple ou sous-multiple)
$L_{\Omega\lambda}$	W/(m ³ ·sr) W/(m ² ·sr·μm)
$\vec{q}_{r,\lambda}$	W/m ³ W/(m ² ·μm)
\vec{q}_r	W/m ³ W/m ²
$q_{r,\lambda n}$	W/m ³ W/(m ² ·μm)

iTech STANDARD PREVIEW
(standards.itech.ai)
ISO 9288:1989

4.10 composante de l'hémisphère «avant» de la densité spectrale de flux de rayonnement :

$$q_{r,\lambda n}^+ = \vec{n} \cdot \vec{q}_{r,\lambda} = \int_{\Omega=2\pi} L_{\Omega\lambda} \vec{\Delta} \cdot \vec{n} \, d\Omega$$

lorsque $\vec{\Delta} \cdot \vec{n} > 0$

4.11 composante de l'hémisphère «arrière» de la densité spectrale de flux de rayonnement :

$$q_{r,\lambda n}^- = \vec{n} \cdot \vec{q}_{r,\lambda} = - \int_{\Omega=2\pi} L_{\Omega\lambda} \vec{\Delta} \cdot \vec{n} \, d\Omega$$

lorsque $\vec{\Delta} \cdot \vec{n} < 0$

NOTES

1 $q_{r,\lambda n}$ peut être exprimé par

$$q_{r,\lambda n} = q_{r,\lambda n}^+ - q_{r,\lambda n}^-$$

2 Dans le cas d'un transfert de chaleur par conduction et rayonnement unidirectionnels combinés dans une direction \vec{n} , on a

$$\vec{q}_n = \vec{q}_{cd,n} + \vec{q}_{r,n}$$

où

\vec{q}_n est la densité de flux thermique comme défini dans l'ISO 7345 : 1987, 2.3;

$\vec{q}_{cd,n}$ est la densité de flux thermique transmis par conduction;

$\vec{q}_{r,n}$ est le vecteur densité totale de flux de rayonnement;

\vec{q}_n peut être déterminé de façon expérimentale selon la méthode à la plaque chaude gardée ou la méthode fluxométrique.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0347ad92-f7c1-48fc-938a-16ea2c21c020/iso-9288-1989>

5 Termes liés aux surfaces émettant un rayonnement thermique

5.1 émission : Processus au cours duquel de la chaleur (provenant de l'agitation moléculaire à l'intérieur des gaz ou de l'agitation atomique à l'intérieur des solides, etc.) est transformée en ondes électromagnétiques.

5.2 excitance totale : Quotient du flux de rayonnement émis par une surface par l'aire de la surface émettrice :

$$M = \frac{\partial \Phi}{\partial A} = q_r^+ \text{ ou } q_r^-$$

NOTE — M est la densité surfacique du flux de rayonnement en chaque point d'une surface émettrice. Il s'agit d'une grandeur hémisphérique totale.

5.3 excitance spectrale : Quotient de l'émittance totale par l'intervalle spectral centré sur la longueur d'onde λ :

$$M_\lambda = \frac{\partial M}{\partial \lambda} = q_{r,\lambda}^+ \text{ ou } q_{r,\lambda}^-$$

Symbole de la grandeur	Symbole de l'unité SI (y compris multiple ou sous-multiple)
$q_{r,\lambda n}^+$	W/m ³ W/(m ² ·μm)
$q_{r,\lambda n}^-$	W/(m ² ·μm)
M	W/m ²
M_λ	W/m ³ W/(m ² ·μm)

5.4 corps noir (radiateur intégral ou radiateur de Planck): Corps absorbant tout le rayonnement incident, de toutes longueurs d'onde, directions et polarisations.

Il émet pour chaque longueur d'onde, à une température donnée, l'énergie thermique maximale (émittance spectrale maximale). Pour cette raison, et du fait que de nombreuses lois rigoureuses définissent son émission, l'émission de corps réels est comparée à celle du corps noir.

NOTE — Les termes liés au corps noir sont marqués d'un exposant (°).

5.5 excitation totale de corps noir: Elle est exprimée par la loi de Stefan-Boltzmann

$$M^\circ = \sigma T^4$$

où

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

T est la température absolue du corps noir.

5.6 excitation spectrale de corps noir: Elle est exprimée par la loi de Planck qui relie M_λ° à la longueur d'onde λ et à la température absolue du corps noir.

$$M_\lambda^\circ = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp(C_2/\lambda \cdot T) - 1}$$

où

$$C_1 = 2\pi h c_0^2 = 3,741 \times 10^{16} \text{ W/m}^2; \quad C_2 = h c_0/k = 0,014 388 \text{ m} \cdot \text{K}$$

h et k étant respectivement les constantes de Planck et de Boltzmann; c_0 est la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide.

Pour chaque température, on peut tracer la courbe $M_\lambda^\circ = f(\lambda)$, avec λ_m comme valeur maximale; λ_m est fonction de la température, mais le produit $\lambda_m \cdot T$ est constant («Loi de déplacement» de Wien):

$$\lambda_m \cdot T = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

M° et M_λ° sont des termes hémisphériques.

L'émission d'un corps noir est isotrope ou diffuse, c'est-à-dire que L° et L_λ° sont indépendants de la direction (Loi de Lambert).

Les luminances totale et spectrale de corps noir sont exprimées par

$$L^\circ = \frac{M^\circ}{\pi}$$

$$L_\lambda^\circ = \frac{M_\lambda^\circ}{\pi}$$

5.7 émission de corps réels: L'évaluation des caractéristiques d'émission de matériaux réels est effectuée comparativement à celle du corps noir placé dans les mêmes conditions de température. En règle générale, ces caractéristiques dépendent de la nature et de l'aspect de surface du corps et varient en fonction de la longueur d'onde, de la direction d'émission et de la température de surface.

Symbole de la grandeur	Symbole de l'unité SI (y compris multiple ou sous-multiple)
M°	W/m ²
M_λ°	W/m ³ W/(m ² ·μm)

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 9288:1989](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0347ad92-f7c1-48fc-938a-16ea2c21c020/iso-9288-1989)

standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0347ad92-f7c1-48fc-938a-16ea2c21c020/iso-9288-1989

	Symbole de la grandeur	Symbole de l'unité SI (y compris multiple ou sous-multiple)
<p>5.8 émissivité totale directionnelle: Quotient de la luminance totale, L_{Ω}, émise par la surface considérée, par la luminance totale émise par le corps noir, L_{Ω}°, à la même température:</p> $\varepsilon_{\Omega} = \frac{L_{\Omega}}{L_{\Omega}^{\circ}}$	ε_{Ω}	
<p>5.9 émissivité spectrale directionnelle: Quotient de la luminance spectrale, $L_{\Omega\lambda}$, de la surface considérée, par la luminance spectrale émise par le corps noir, $L_{\Omega\lambda}^{\circ}$, à la même température:</p> $\varepsilon_{\Omega\lambda} = \frac{L_{\Omega\lambda}}{L_{\Omega\lambda}^{\circ}}$	$\varepsilon_{\Omega\lambda}$	
<p>5.10 émissivité hémisphérique totale: Quotient de l'excitance hémisphérique totale, M, de la surface considérée, par l'excitance hémisphérique totale de corps noir, M°, à la même température:</p> $\varepsilon = \frac{M}{M^{\circ}}$	ε	
<p>5.11 émissivité hémisphérique spectrale: Quotient de l'excitance spectrale, M_{λ}, de la surface considérée par l'excitance spectrale du corps noir, M_{λ}°, à la même température:</p> $\varepsilon_{\lambda} = \frac{M_{\lambda}}{M_{\lambda}^{\circ}}$	ε_{λ}	
<p>5.12 corps gris: Radiateur thermique dont l'émissivité spectrale hémisphérique ou directionnelle est indépendante de la longueur d'onde:</p> $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon, \varepsilon_{\Omega\lambda} = \varepsilon_{\Omega}$		
<p>5.13 corps à émission isotrope: Radiateur thermique dont l'émissivité totale ou spectrale est indépendante de la direction:</p> $\varepsilon_{\Omega} = \varepsilon, \varepsilon_{\Omega\lambda} = \varepsilon_{\lambda}$		
<p>5.14 corps gris à émission isotrope: Radiateur thermique dont l'émissivité est indépendante à la fois de la longueur d'onde et de la direction:</p> $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon_{\Omega\lambda} = \varepsilon_{\Omega} = \varepsilon$		
<p>Ces émissivités peuvent varier en fonction de la température: $\varepsilon(T)$.</p> <p>NOTE — En règle générale, on accepte, dans des calculs, l'hypothèse de surfaces grises et d'une émission isotrope, avec une émissivité indépendante de la longueur d'onde et de la direction. Dans ce cas, les différentes émissivités d'une surface se réduisent à un seul paramètre, ε.</p>		
<p>6 Termes liés aux surfaces opaques ou semi-transparentes recevant un rayonnement thermique</p> <p>Lorsque l'énergie de rayonnement de la longueur d'onde λ atteint la surface d'un matériau selon une direction \vec{A} à l'intérieur de l'angle solide Ω</p> <ul style="list-style-type: none"> — une partie $\varrho_{\Omega\lambda}$ du rayonnement incident total est réfléchi; 		

- une partie $\alpha_{\Omega\lambda}$ est absorbée à l'intérieur du matériau, et
- une partie $\tau_{\Omega\lambda}$ peut être transmise.

Les trois termes $\alpha_{\Omega\lambda}$, $\rho_{\Omega\lambda}$, $\tau_{\Omega\lambda}$ suivent la relation suivante :

$$\alpha_{\Omega\lambda} + \rho_{\Omega\lambda} + \tau_{\Omega\lambda} = 1$$

Des relations similaires peuvent être exprimées pour les termes spectraux, directionnels et hémisphériques totaux. Les termes spectraux et totaux supposent un rayonnement incident isotrope.

$\alpha = 1$ pour le corps noir

$\tau = 0$ pour des corps opaques

$\alpha = \alpha_\lambda$; $\rho = \rho_\lambda$; $\tau = \tau_\lambda$ pour des corps gris

$\alpha = \alpha_{\Omega\lambda}$; $\rho = \rho_{\Omega\lambda}$; $\tau = \tau_{\Omega\lambda}$ pour des corps gris à émission isotrope ou diffuse.

Pour un rayonnement de direction et de longueur d'onde données, on a dans tous les cas

$$\alpha_{\Omega\lambda}(T) = \varepsilon_{\Omega\lambda}(T)$$

expression de la loi de Kirchhoff : pour chaque longueur d'onde et chaque direction de propagation du rayonnement émis ou reçu par une surface, à une température donnée, l'émissivité directionnelle spectrale et l'absorption sont égales. (standards.iteh.ai)

La loi de Kirchhoff est valable aussi pour les termes hémisphériques monochromatiques : [ISO 9288:1989](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0347ad92-f7c1-48fc-938a-16ea2c21c020/iso-9288-1989)

$$\varepsilon_\lambda(T) = \alpha_\lambda(T)$$

mais, en général, cette relation ne peut pas être étendue au rayonnement total émis et absorbé par un corps. Par conséquent, il est impossible d'écrire $\varepsilon = \alpha$, sauf dans le cas de corps gris et noirs et/ou lorsque la distribution spectrale du rayonnement incident est identique à celle du corps noir, à la température de la surface considérée.

6.1 éclairage total: Quotient du flux de rayonnement reçu par une surface par l'aire de cette surface :

$$E = \frac{\partial\Phi}{\partial A} = q_r^+ \text{ ou } q_r^-$$

NOTE — E est la densité surfacique du flux de rayonnement à chaque point d'une surface réceptrice. C'est une grandeur hémisphérique totale.

6.2 éclairage spectral: Quotient de l'éclairage par l'intervalle spectral centré sur la longueur d'onde λ :

$$E_\lambda = \frac{\partial E}{\partial\lambda} = q_{r,\lambda}^+ \text{ ou } q_{r,\lambda}^-$$

6.3 radiosité totale: Quotient du flux de rayonnement émis et réfléchi par une surface opaque, par l'aire de cette surface :

$$J = \frac{\partial\Phi}{\partial A} = q_r^+ \text{ ou } q_r^-$$

NOTE — J est la densité surfacique d'un flux de rayonnement en chaque point d'une surface opaque, résultant de l'émission et de la réflexion de la surface.

Symbole de la grandeur	Symbole de l'unité SI (y compris multiple ou sous-multiple)
------------------------	---

E	W/m ²
-----	------------------

E_λ	W/m ³ W/(m ² ·μm)
-------------	--

J	W/m ²
-----	------------------