

---

---

**Isolation thermique des équipements  
de bâtiments et des installations  
industrielles — Méthodes de calcul**

*Thermal insulation for building equipment and industrial  
installations — Calculation rules*

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 12241:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/90731ebe-5d7a-4b59-82bd-dacb5cfa29cb/iso-12241-2022>



iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 12241:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/90731ebe-5d7a-4b59-82bd-dacb5cfa29cb/iso-12241-2022>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2022

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8  
CH-1214 Vernier, Genève  
Tél.: +41 22 749 01 11  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termes, définitions et symboles</b> .....	<b>1</b>
3.1 Termes et définitions .....	1
3.2 Symboles .....	2
3.3 Indices .....	3
<b>4 Règles et formules de calcul du transfert de chaleur</b> .....	<b>4</b>
4.1 Formules fondamentales pour le transfert de chaleur .....	4
4.1.1 Généralités .....	4
4.1.2 Conduction thermique .....	4
4.1.3 Coefficient de transfert thermique surfacique .....	10
4.1.4 Résistance superficielle extérieure .....	18
4.1.5 Coefficient de transmission thermique .....	18
4.1.6 Flux thermique .....	19
4.1.7 Températures aux interfaces .....	20
4.2 Détermination de l'influence des ponts thermiques .....	21
4.2.1 Généralités .....	21
4.2.2 Ponts thermiques liés au système d'isolation .....	21
4.2.3 Ponts thermiques liés à l'installation .....	21
4.3 Détermination du flux thermique total pour les parois planes, les conduits et les sphères .....	22
4.4 Température superficielle .....	22
4.5 Prévention de la condensation superficielle .....	23
<b>5 Calcul des variations de température dans les conduits, réservoirs et capacités</b> .....	<b>24</b>
5.1 Généralités .....	24
5.2 Variation de température axiale dans un conduit .....	25
5.3 Variation de température et temps de refroidissement dans les conduits, réservoirs et capacités .....	25
<b>6 Calcul des temps nécessaires au refroidissement, puis à la congélation des liquides au repos</b> .....	<b>26</b>
6.1 Calcul du temps de refroidissement pour prévenir le gel de l'eau dans un conduit .....	26
6.2 Calcul du temps de congélation de l'eau dans un conduit .....	27
<b>7 Calcul de la déperdition thermique pour les canalisations enterrées</b> .....	<b>28</b>
7.1 Généralités .....	28
7.2 Conduit seul enterré sans caniveau .....	28
7.2.1 Conduit non isolé .....	28
7.2.2 Conduit isolé .....	29
7.3 Autres cas .....	30
<b>Annexe A (informative) Ponts thermiques</b> .....	<b>31</b>
<b>Annexe B (informative) Exemples</b> .....	<b>45</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>54</b>

## 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 (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. Le ISO ne saurait être tenu pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [www.iso.org/iso/fr/avant-propos](http://www.iso.org/iso/fr/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité ISO/TC 163, *Performance thermique et utilisation de l'énergie en environnement bâti*, sous-comité SC 2, *Méthodes de calcul*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 89, *Performance thermique des bâtiments et des composants du bâtiment*, du Comité européen de normalisation (CEN), conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 12241:2008), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- ajout de la méthode de calcul du terme convectif du coefficient de transfert thermique surfacique extérieur;
- ajout de la méthode d'introduction de ponts thermiques dans le calcul général des déperditions thermiques;
- ajout de données détaillées pour accompagner la méthode de calcul des accessoires (ponts thermiques), uniquement à titre informatif.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/members.html](http://www.iso.org/members.html).

## Introduction

Les méthodes de calcul relatives à la conduction découlent directement de la loi de Fourier sur la conduction thermique, de sorte qu'il n'existe pas de différence significative dans les formules utilisées dans les pays membres. En revanche, pour la convection et le rayonnement, il n'existe pas de méthode, en pratique, qui puisse être reliée mathématiquement à la loi de Newton sur le refroidissement ou à la loi de Stefan-Boltzmann sur le rayonnement thermique, sans un quelconque élément empirique. Pour la convection en particulier, de nombreuses formules différentes, fondées sur des données de laboratoire, ont été élaborées. Différentes formules sont en usage dans divers pays et aucun moyen exact n'est disponible pour opérer une sélection entre elles.

Dans les limites exposées ci-dessous, les présentes méthodes de calcul peuvent être appliquées à la plupart des problèmes de transfert de chaleur relatifs à l'isolation thermique industrielle.

- a) Ces méthodes ne tiennent pas compte des mouvements d'air et du coefficient de transmission rayonnement thermique à travers des milieux transparents.
- b) La résolution des formules propres à ces méthodes exige que certaines variables du système soient connues, données, présumées ou mesurées. Dans tous les cas, l'exactitude des résultats dépend de l'exactitude des variables d'entrée. Le présent document ne comporte pas de lignes directrices relatives au mesurage exact de l'une quelconque de ces variables. Toutefois, elle contient des indications qui se sont révélées satisfaisantes pour l'estimation de certaines des variables pour de nombreux systèmes thermiques industriels.
- c) Lorsque les calculs en régime stationnaire sont utilisés dans un environnement thermique changeant (équipement industriel exploité toute l'année durant, à l'extérieur, par exemple), il est nécessaire d'utiliser des données météorologiques locales fondées sur les moyennes annuelles ou les extrêmes annuels des variables météorologiques (selon la nature du calcul considéré) pour procéder aux calculs du présent document.
- d) En particulier, il convient que l'utilisateur ne déduise pas des méthodes du présent document que la qualité de l'isolation ou l'absence de condensation peut être assurée de manière fiable en se fondant sur des mesurages simples minimaux et sur l'application des méthodes de calcul de base données dans le présent document. Pour la plupart des surfaces d'échanges thermiques en milieu industriel, il n'existe pas d'état isotherme, c'est-à-dire une température uniforme sur toute la surface, mais plutôt un profil de température variable. En outre, le flux thermique à travers une surface, en tout point de cette dernière, est fonction de plusieurs variables qui ne sont pas directement liées à la qualité de l'isolation. Ces variables comprennent notamment la température ambiante, les mouvements de l'air, la rugosité et l'émissivité de la surface d'échange thermique, ainsi que l'échange par rayonnement avec l'environnement (souvent très variable). Pour le calcul des températures de condensation, la variation de l'humidité locale constitue également un facteur important.
- e) Sauf à l'intérieur des bâtiments, la température radiante moyenne résultante des milieux correspond rarement à la température de l'air, et les mesurages des températures environnantes, l'émissivité et les zones exposées ne relèvent pas du domaine d'application du présent document. C'est pourquoi ni la température superficielle ni la différence de température entre la surface et l'air ne peuvent être utilisées comme des indicateurs fiables de la performance de l'isolation ou de l'absence de condensation.

Les [Articles 4](#) et [5](#) du présent document présentent les méthodes utilisées pour les calculs thermiques des isolations industrielles qui ne sont pas couverts par des normes spécifiques.

Les [Articles 6](#) et [7](#) du présent document constituent des adaptations de la formule générale pour des applications spécifiques de calcul de flux thermique, de chute de température, de temps de congélation dans les conduits et dans d'autres réservoirs. L'isolation thermique des systèmes de chauffage/refroidissement tels que les chaudières et les réfrigérateurs n'est pas traitée dans le présent document.

Les [Annexes A](#) et [B](#) du présent document sont fournies à titre informatif uniquement.



# Isolation thermique des équipements de bâtiments et des installations industrielles — Méthodes de calcul

## 1 Domaine d'application

Le présent document donne des méthodes pour calculer les propriétés relatives au transfert de chaleur des équipements de bâtiments et des installations industrielles, principalement en régime stationnaire. Il fournit également une approche simplifiée du calcul des ponts thermiques.

## 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 7345, *Performance thermique des bâtiments et des matériaux pour le bâtiment — Grandeurs physiques et définitions*

ISO 9346, *Performance hygrothermique des bâtiments et des matériaux pour le bâtiment — Grandeurs physiques pour le transfert de masse — Vocabulaire*

ISO 13787, *Produits isolants thermiques pour l'équipement du bâtiment et les installations industrielles — Détermination de la conductivité thermique déclarée*

ISO 13788, *Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments — Température superficielle intérieure permettant d'éviter l'humidité superficielle critique et la condensation dans la masse — Méthodes de calcul*

ISO 23993, *Produits isolants thermiques pour l'équipement du bâtiment et les installations industrielles — Détermination de la conductivité thermique utile*

## 3 Termes, définitions et symboles

### 3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de ISO 7345, ISO 9346, ISO 13787 et ISO 23993 ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>;
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>.

#### 3.1.1

##### **disque d'extrémité séparé thermiquement**

disque d'extrémité utilisé de sorte que les extrémités et les embouts ne soient pas en contact avec l'objet

Note 1 à l'article: Cette construction permet d'éviter les ponts thermiques et les risques de dégradation des pare-vapeurs ou du tracé des conduits<sup>[15]</sup>.

### 3.2 Symboles

Le [Tableau 1](#) donne la définition et l'unité des symboles utilisés dans le présent document.

**Tableau 1 — Définition et unité des symboles**

Symbole	Définition	Unité
$A$	aire	$m^2$
$A_s$	coefficient d'absorption solaire	
$a$	longueur d'un rectangle	m
$a_r$	facteur de température	$K^3$
$b$	largeur d'un rectangle	m
$C_r$	coefficient de rayonnement	$W/(m^2 \cdot K^4)$
$c_p$	capacité thermique massique à pression constante	$J/(kg \cdot K)$
$D$	diamètre	m
$d$	épaisseur	m
$d_R$	épaisseur de la couche isolante du conduit	m
$F$	facteur de conversion global de la conductivité thermique	
$Gr$	nombre de Grashof	
$H$	hauteur	m
$h$	coefficient de transfert thermique surfacique	$W/K$
$J_s$	rayonnement solaire	$W/m^2$
$K$	coefficient de pont thermique	$W/K$
$L$	longueur	m
$l$	longueur caractéristique	m
$l_i$	longueur intérieure de la boîte d'isolation	m
$m$	masse	kg
$\dot{m}$	débit massique	kg/s
$Nu$	nombre de Nusselt	
$P$	périmètre	m
$p$	pression	Pa
$p_a$	pression de vapeur d'eau	Pa
$Pr$	nombre de Prandtl	
$q$	densité de flux thermique	$W/m^2$ ou $W/m$
$R$	résistance thermique	$m^2 \cdot K/W$ , $m \cdot K/W$ ou $K/W$
$Re$	nombre de Reynolds	
$S$	espace intérieur de la boîte d'isolation	
$T$	température thermodynamique	K
$t$	temps	s
$U$	coefficient de transmission thermique	$W/(m^2 \cdot K)$ , $W/(m \cdot K)$ ou $W/K$
$w$	vitesse de l'air ou d'un autre fluide	m/s
$x$	longueur de boulon + 20 mm	mm
$\alpha$	coefficient de chute de température axiale	$m^{-1}$
$\alpha'$	coefficient de temps de refroidissement	$s^{-1}$
$\Delta h$	chaleur latente	$J/kg$
$\varepsilon$	émissivité	

Tableau 1 (suite)

Symbole	Définition	Unité
$\Phi$	flux thermique	W
$\lambda$	conductivité thermique	W/(m·K)
$\lambda_d$	conductivité thermique déclarée	W/(m·K)
$\lambda_D$	conductivité thermique utile	W/(m·K)
$\theta$	température en degrés Celsius	°C
$\theta_b$	point de mesure de la température à la base de la pièce saillante	°C
$\rho$	masse volumique	kg/m <sup>3</sup>
$\varphi$	humidité relative	%
$\sigma$	constante de Stefan-Boltzmann (voir Référence [8])	W/(m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> )
$\nu$	viscosité cinématique de l'air ou d'un autre fluide	m <sup>2</sup> /s
$\Delta$	différence	
$\Delta A$	aire équivalente	m <sup>2</sup>
$\Delta L$	longueur équivalente	m
$\Delta\lambda$	conductivité supplémentaire due aux composants régulièrement disposés dans le système d'isolation	W/(m·K)

### 3.3 Indices

Le [Tableau 2](#) donne la définition des indices utilisés dans le présent document.

Tableau 2 — Définition des indices

A	vanne	in	initial
a	ambient	Ka	boîte d'isolation
anc	ancrage	l	linéique
av	moyen	lab	laboratoire
B	pont thermique	lam	flux laminaire
c	refroidissement	MRT	température radiante moyenne
cv	convection	nat.	naturelle
cr	critique	P	pompe
cs	section transversale	p	conduit
d	gaine	r	rayonnement
E	sol	ref	référence
e	extérieur (externe)	s	surface
ef	efficace	sat	vapeur saturante
en	entrée	se	surface extérieure
ex	sortie	si	surface intérieure
f	fluide	sph	sphérique
fa	partie frontale de la pièce saillante	sq	par carré
fas	fixation	T	total
FEM	méthode des éléments finis	tb	pont thermique lié à l'isolation
fi	final	tur	écoulement turbulent
fin	pièce saillante	V	vertical
fl	bride	v	réservoir
forcée	forcée	W	paroi
fr	congélation	w	eau

Tableau 2 (suite)

H	horizontal	wp	début de la congélation
i	intérieur (interne)		

## 4 Règles et formules de calcul du transfert de chaleur

### 4.1 Formules fondamentales pour le transfert de chaleur

#### 4.1.1 Généralités

Les formules données dans [l'Article 4](#) ne s'appliquent que dans le cas du transfert de chaleur en régime stationnaire, c'est-à-dire dans le cas où les températures restent constantes dans le temps en tout point du fluide considéré. La valeur de la conductivité thermique utile dépend de la température, voir [Figure 1](#), courbe en pointillés. Néanmoins, pour les besoins du présent document, la valeur de la conductivité thermique utile doit être utilisée à la température moyenne de chaque couche.

#### 4.1.2 Conduction thermique

La conduction thermique décrit normalement le transfert de chaleur moléculaire dans les solides, les liquides et les gaz sous l'effet d'un gradient de température.

Dans le calcul, il est présumé que le gradient de température n'existe que dans une seule direction et que la température est constante dans les plans perpendiculaires à celui-ci.

La densité de flux thermique,  $q$ , pour une paroi plane dans la direction  $x$  est donnée par la [Formule \(1\)](#):

$$q = \lambda_D \cdot \frac{d\theta}{dx} \quad (1)$$

Pour une couche unique, les [Formules \(2\)](#), [\(3\)](#) et [\(4\)](#) sont données:

$$q = \frac{\lambda_D}{d} \cdot (\theta_{si} - \theta_{se}) \quad (2)$$

ou

$$q = \frac{(\theta_{si} - \theta_{se})}{R} \quad (3)$$

et

$$R = \frac{d}{\lambda_D} \quad (4)$$

où

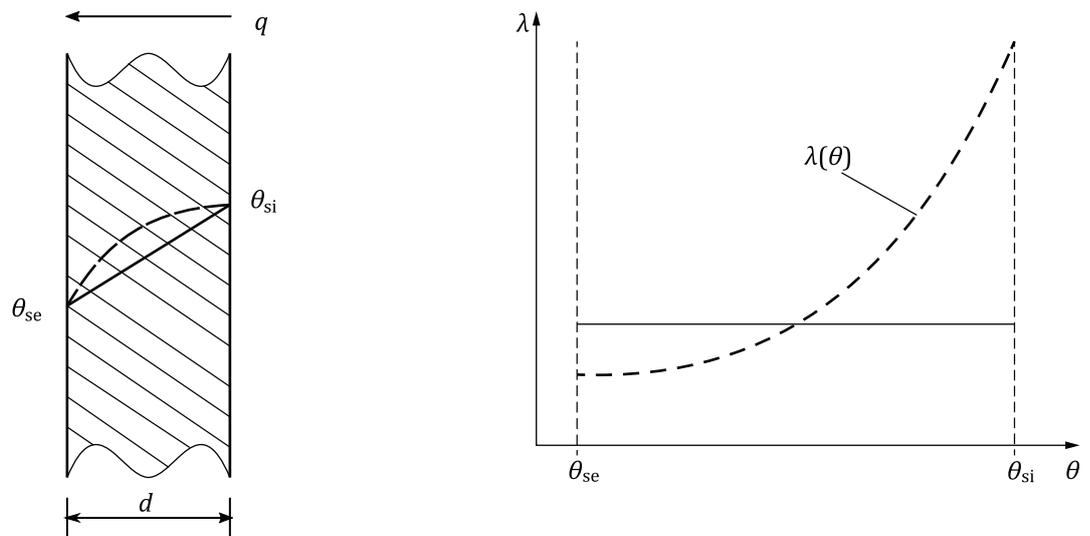
$\lambda_D$  est la conductivité thermique utile du produit isolant ou du système d'isolation, en W/(m·K);

$d$  est l'épaisseur de la paroi plane, en m;

$\theta_{si}$  est la température de la surface intérieure, en °C;

$\theta_{se}$  est la température de la surface extérieure, en °C;

$R$  est la résistance thermique de la paroi, en m<sup>2</sup>·K/W.



a) Distribution de la température dans une paroi monocouche

b) Conductivité thermique en fonction de la température

NOTE La courbe en pointillés de la [Figure 1a](#)) représente la variation de température dans une paroi, en supposant que la conductivité thermique dépend de la température, comme la courbe en pointillés de la [Figure 1b](#)). Dans le cas où la conductivité thermique est considérée comme indépendante de la température (droite pleine à la [Figure 1b](#))), la variation de la température à l'intérieur d'une paroi est représentée par la ligne droite à la [Figure 1a](#)).

Figure 1 — Distribution de la température

Pour une paroi multicouche (voir [Figure 2](#)),  $q$  est calculé selon la [Formule \(3\)](#), où  $R$  est la résistance thermique de la paroi multicouche, selon la [Formule \(5\)](#):

$$R = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_{D_j}} \quad (5)$$

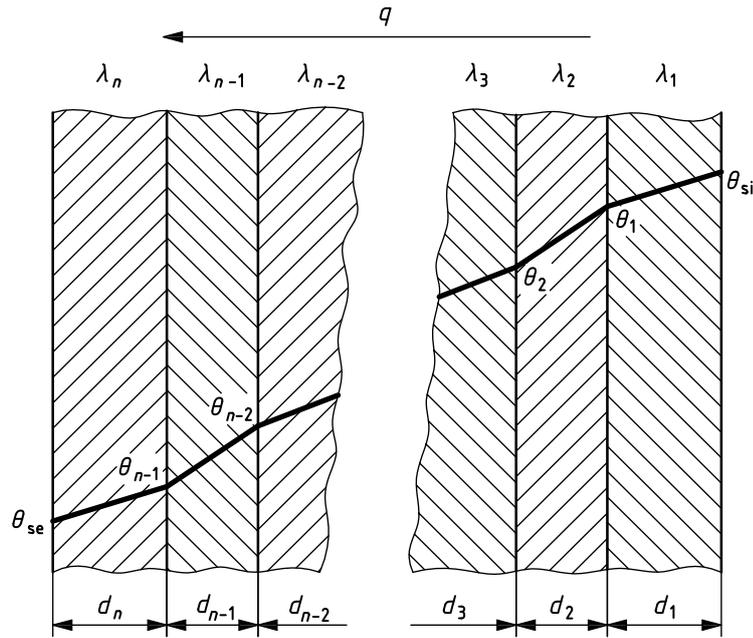


Figure 2 — Distribution de la température dans une paroi multicouche

La densité linéique de flux thermique,  $q_1$ , d'un cylindre creux monocouche (voir Figure 3) est donnée par la Formule (6):

$$q_1 = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_1} \tag{6}$$

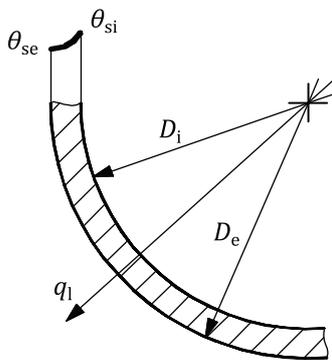
où  $R_1$  est la résistance thermique linéique d'un cylindre creux monocouche [m·K/W], selon la Formule (7):

$$R_1 = \frac{\ln \frac{D_e}{D_i}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_D} \tag{7}$$

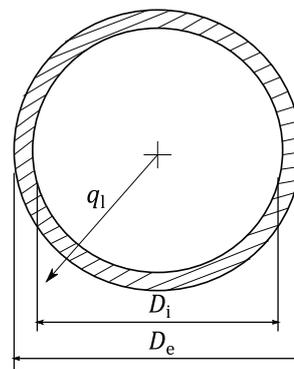
où

$D_e$  est le diamètre extérieur de la couche, en m;

$D_i$  est le diamètre intérieur de la couche, en m.



a) Distribution de la température dans un cylindre creux monocouche



b) Vue de face d'un cylindre creux

**Figure 3 — Distribution de la température dans un cylindre creux monocouche**

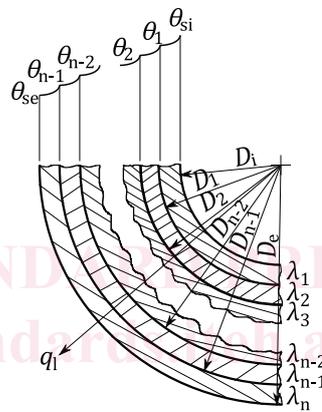
Pour un cylindre creux multicouche (voir [Figure 4](#)), la densité linéique de flux thermique,  $q_l$ , est donnée par la [Formule \(6\)](#), où  $R_l$  est donnée par la [Formule \(8\)](#)

$$R_l = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{\lambda_{D_j}} \ln \frac{D_{e,j}}{D_{i,j}} \right) \quad (8)$$

où

$$D_{i,1} = D_i$$

$$D_{e,n} = D_e$$

**Figure 4 — Distribution de la température dans un cylindre creux multicouche**

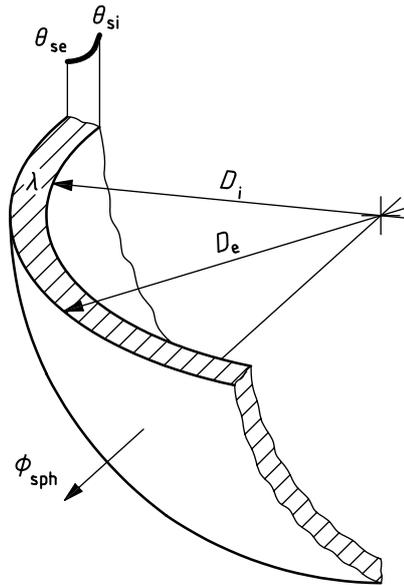
Pour les surfaces incurvées de diamètre supérieur à 1 200 mm, il est recommandé d'utiliser les formules relatives aux parois planes.

Le flux thermique d'une sphère,  $\Phi_{sph}$ , pour une sphère creuse monocouche (voir [Figure 5](#)) est donné par la [Formule \(9\)](#):

$$\Phi_{sph} = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_{sph}} \quad (9)$$

où  $R_{sph}$  est la résistance thermique d'une sphère creuse monocouche [K/W], selon la [Formule \(10\)](#):

$$R_{sph} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_D} \left( \frac{1}{D_i} - \frac{1}{D_e} \right) \quad (10)$$



**Figure 5 — Distribution de la température dans une sphère creuse monocouche**

Pour une sphère creuse multicouche (voir [Figure 6](#)), le flux thermique de la sphère,  $\Phi_{\text{sph}}$ , est donné par la [Formule \(9\)](#), où  $R_{\text{sph}}$  est donnée par la [Formule \(11\)](#):

$$R_{\text{sph}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_{D_j}} \cdot \left( \frac{1}{D_{j-1}} - \frac{1}{D_j} \right) \quad (11)$$

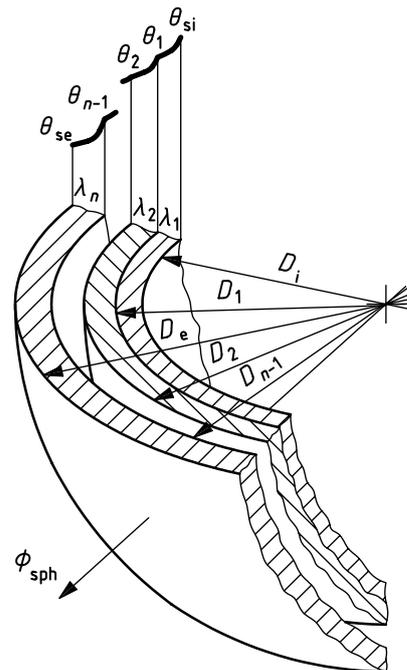
où

$$D_0 = D_i$$

$$D_n = D_e$$

ISO 12241:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/90731ebe-5d7a-4b59-82bd-dacb5cfa29cb/iso-12241-2022>



**Figure 6 — Distribution de la température dans une sphère creuse multicouche**

La densité linéique de flux thermique,  $q_l$ , à travers la paroi d'une gaine de section rectangulaire (voir [Figure 7](#)) est donnée par la [Formule \(12\)](#):

$$q_l = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_l} \quad (12)$$

La résistance thermique linéique,  $R_l$  [m·K/W], de la paroi d'une gaine de ce type peut être calculée approximativement selon la [Formule \(13\)](#):

$$R_l = \frac{2 \cdot d}{\lambda_D \cdot (P_e + P_i)} \quad (13)$$

où

$d$  est l'épaisseur de la couche isolante, en m;

$P_i$  est le périmètre intérieur de la gaine, en m;

$P_e$  est le périmètre extérieur de la gaine, en m, selon la [Formule \(14\)](#):

$$P_e = P_i + (8 \cdot d) \quad (14)$$