

---

---

**Ergonomie des ambiances thermiques —  
Détermination et interprétation de la  
contrainte liée au froid en utilisant  
l'isolement thermique requis du vêtement  
(IREQ) et les effets du refroidissement  
local**

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)  
*Ergonomics of the thermal environment — Determination and  
interpretation of cold stress when using required clothing insulation  
(IREQ) and local cooling effects*

ISO 11079:2007

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/21275d86-e307-48a8-9c03-91c4e76d3f9/iso-11079-2007>



**PDF – Exonération de responsabilité**

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

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

[ISO 11079:2007](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/21275d86-e307-48a8-9c03-91c4e76d3ff9/iso-11079-2007)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/21275d86-e307-48a8-9c03-91c4e76d3ff9/iso-11079-2007>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2007

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'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax. + 41 22 749 09 47  
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</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes, définitions et symboles</b> .....	<b>2</b>
<b>4</b> <b>Principes des méthodes d'évaluation</b> .....	<b>4</b>
<b>5</b> <b>Refroidissement général</b> .....	<b>4</b>
<b>6</b> <b>Refroidissement local</b> .....	<b>10</b>
<b>7</b> <b>Évaluation pratique des environnements froids et interprétation</b> .....	<b>12</b>
<b>Annexe A</b> (normative) <b>Calcul de l'équilibre thermique</b> .....	<b>14</b>
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Critères physiologiques de l'exposition au froid</b> .....	<b>17</b>
<b>Annexe C</b> (informative) <b>Métabolisme énergétique et propriétés thermiques du vêtement</b> .....	<b>19</b>
<b>Annexe D</b> (informative) <b>Détermination du refroidissement par le vent</b> .....	<b>22</b>
<b>Annexe E</b> (informative) <b>Exemples d'évaluation de IREQ</b> .....	<b>24</b>
<b>Annexe F</b> (informative) <b>Programme informatique pour le calcul de IREQ</b> .....	<b>34</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>35</b>

[ISO 11079:2007](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/21275d86-e307-48a8-9c03-91c4e76d3f9/iso-11079-2007)  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/21275d86-e307-48a8-9c03-91c4e76d3f9/iso-11079-2007>

## 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 Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. 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.

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. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 11079 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 159, *Ergonomie*, sous-comité SC 5, *Ergonomie de l'environnement physique*.

Cette première édition de l'ISO 11079 annule et remplace l'ISO/TR 11079:1993, qui a fait l'objet d'une révision technique.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/21275d86-e307-48a8-9c03-91c4e76d3ff9/iso-11079-2007>

## Introduction

Bien que le refroidissement par le vent soit un phénomène courant dans les climats froids, les basses températures mettent avant tout en danger l'équilibre thermique du corps. En choisissant correctement ses vêtements, l'homme parvient souvent à contrôler et réguler les pertes thermiques corporelles afin de compenser la variation du climat ambiant. Par conséquent, la méthode exposée dans le présent document est basée sur l'évaluation de l'isolement des vêtements qui est requise pour maintenir le bilan thermique du corps à l'équilibre. L'équation de bilan thermique utilisée prend en compte les toutes dernières découvertes scientifiques relatives aux échanges de chaleur existant à la surface de la peau ainsi qu'au niveau des vêtements.

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

[ISO 11079:2007](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/21275d86-e307-48a8-9c03-91c4e76d3ff9/iso-11079-2007>

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

ISO 11079:2007

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/21275d86-e307-48a8-9c03-91c4e76d3ff9/iso-11079-2007>

# Ergonomie des ambiances thermiques — Détermination et interprétation de la contrainte liée au froid en utilisant l'isolement thermique requis du vêtement (IREQ) et les effets du refroidissement local

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale expose des méthodes et des stratégies ayant pour but d'évaluer la contrainte thermique associée à l'exposition aux environnements froids. Ces méthodes s'appliquent aux expositions et aux types de travaux continus, intermittents et occasionnels, aussi bien en intérieur qu'à l'extérieur. Elles ne sont pas applicables aux effets spécifiques liés à certains phénomènes météorologiques (des précipitations, par exemple), qui sont évalués par d'autres méthodes.

## 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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 7726, *Ergonomie des ambiances thermiques — Appareils de mesure des grandeurs physiques*

ISO 8996, *Ergonomie de l'environnement thermique — Détermination du métabolisme énergétique*

ISO 9237, *Textiles — Détermination de la perméabilité à l'air des étoffes*

ISO 9920, *Ergonomie des ambiances thermiques — Détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une tenue vestimentaire*

ISO 13731, *Ergonomie des ambiances thermiques — Vocabulaire et symboles*

ISO 13732-3, *Ergonomie des ambiances thermiques — Méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces — Partie 3: Surfaces froides*

ISO 15831, *Vêtements — Effets physiologiques — Mesurage de l'isolation thermique à l'aide d'un mannequin thermique*

EN 511, *Gants de protection contre le froid*

### 3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 13731, ainsi que les termes, définitions et symboles suivants, s'appliquent.

#### 3.1 Termes et définitions

##### 3.1.1

###### **contrainte liée au froid**

conditions climatiques dans lesquelles l'échange thermique corporel est juste égal ou trop élevé pour établir l'équilibre thermique au prix d'une astreinte physiologique importante et parfois non compensable (perte de chaleur)

##### 3.1.2

###### **contrainte liée à la chaleur**

conditions climatiques dans lesquelles l'échange thermique corporel est juste égal ou trop faible pour établir l'équilibre thermique au prix d'une astreinte physiologique importante et parfois non compensable (accumulation de chaleur)

##### 3.1.3

###### **IREQ**

isolement thermique d'un vêtement, requis pour maintenir l'équilibre thermique du corps aux niveaux d'une astreinte physiologique définis

##### 3.1.4

###### **zone neutre**

plage de températures dans laquelle le corps maintient l'équilibre thermique uniquement par des réactions vasomotrices

##### 3.1.5

**température de refroidissement par le vent** ISO 11079:2007  
document par le biais de [standards.iso.org/iso/catalog/standards/sist/21275d86-e307-48a8-9c03-11079-2007](http://standards.iso.org/iso/catalog/standards/sist/21275d86-e307-48a8-9c03-11079-2007)  
température associée à l'effet de refroidissement sur une surface cutanée locale

#### 3.2 Symboles

$A_{Du}$	Surface du corps selon Dubois, $m^2$
$a_p$	Perméabilité à l'air, $l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
$C$	Flux de chaleur par convection (échange), $W \cdot m^{-2}$
$c_e$	Chaleur latente d'évaporation de l'eau, $J \cdot kg^{-1}$
$c_p$	Chaleur massique de l'air sec à pression constante, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
$C_{res}$	Flux de chaleur par convection respiratoire (perte), $W \cdot m^{-2}$
$D_{lim}$	Durée d'exposition admissible, h
$D_{rec}$	Temps de récupération, h
$E$	Flux de chaleur (échange thermique) par évaporation au niveau de la peau, $W \cdot m^{-2}$
$E_{res}$	Flux de chaleur par évaporation respiratoire (perte), $W \cdot m^{-2}$
$f_{cl}$	Facteur de surface du vêtement, sans dimension
$h_c$	Coefficient de transfert de chaleur par convection, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

$h_r$	Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
$I_a$	Isolement thermique de la couche limite d'air, $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
$I_{a,r}$	Isolement thermique de la couche limite d'air résultant, $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
$I_{cl}$	Isolement thermique intrinsèque du vêtement, $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
$I_{cl,r}$	Isolement thermique vestimentaire résultant, $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
$I_T$	Isolement thermique intrinsèque total, $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
$I_{T,r}$	Isolement thermique total résultant, $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
$i_m$	Indice de perméabilité à l'humidité, sans dimension
IREQ	Isolement thermique requis du vêtement, $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
IREQ <sub>min</sub>	Isolement thermique vestimentaire minimal requis, $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
IREQ <sub>neutral</sub>	Isolement thermique vestimentaire neutre requis, $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
$K$	Flux de chaleur par conduction (échange), $W \cdot m^{-2}$
$M$	Métabolisme énergétique, $W \cdot m^{-2}$
$p_a$	Pression partielle de vapeur d'eau, kPa
$p_{ex}$	Pression saturée de vapeur d'eau à la température de l'air expiré, kPa
$p_{sk}$	Pression de vapeur d'eau à la température de la peau, kPa
$p_{sk,s}$	Pression saturée de vapeur d'eau à la surface de la peau, kPa
$Q$	Perte ou gain de chaleur corporelle, $kJ \cdot m^{-2}$
$Q_{lim}$	Valeur limite de $Q$ , $kJ \cdot m^{-2}$
$R$	Flux de chaleur par rayonnement (échange), $W \cdot m^{-2}$
$R_{e,T}$	Résistance évaporatoire totale du vêtement et de la couche limite d'air, $m^2 \cdot kPa \cdot W^{-1}$
$S$	Débit d'accumulation de chaleur dans le corps, $W \cdot m^{-2}$
$t_a$	Température de l'air, °C
$t_{cl}$	Température de la surface externe du vêtement, °C
$t_{ex}$	Température de l'air expiré, °C
$t_o$	Température opérative, °C
$t_r$	Température de rayonnement
$t_{sk}$	Température cutanée locale, °C
$\bar{t}_{sk}$	Température cutanée moyenne, °C
$t_{WC}$	Température de refroidissement par le vent, °C
$V$	Débit de ventilation respiratoire, $kg \text{ air} \cdot s^{-1}$

$v_{10}$	Vitesse du vent mesurée à 10 m au-dessus du sol, $m \cdot s^{-1}$
$v_a$	Vitesse de l'air, $m \cdot s^{-1}$
$v_w$	Vitesse de marche à pied, $m \cdot s^{-1}$
$W$	Puissance mécanique utile, $W \cdot m^{-2}$
$w$	Mouillure cutanée, sans dimension
$W_a$	Rapport d'humidité de l'air inspiré, kg d'eau/kg d'air sec
$W_{ex}$	Rapport d'humidité de l'air expiré, kg d'eau/kg d'air sec
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann
$\varepsilon_{cl}$	Surface d'émissivité du vêtement, sans dimension

## 4 Principes des méthodes d'évaluation

La contrainte liée au froid est évaluée à la fois en termes de refroidissement général du corps et de refroidissement local de parties spécifiques du corps (les extrémités et le visage, par exemple). Les types suivants de contrainte liée au froid sont identifiés:

### a) Refroidissement général

Pour le refroidissement général, l'Article 5 décrit une méthode analytique qui permet d'évaluer et d'interpréter la contrainte thermique. Cette méthode est basée sur le calcul de l'échange thermique corporel, sur l'isolement thermique requis du vêtement (IREQ) destiné à maintenir l'équilibre thermique, et sur l'isolement thermique assuré par l'ensemble vestimentaire utilisé ou dont l'usage est prévu.

### b) Refroidissement local

- 1) refroidissement par convection (refroidissement par le vent)
- 2) refroidissement par conduction
- 3) refroidissement des extrémités
- 4) refroidissement des voies respiratoires

Pour le refroidissement local, des méthodes sont proposées à l'Article 6. L'Article 6 et l'Annexe B indiquent également les critères physiologiques et les valeurs limites.

Les sections suivantes décrivent les principales étapes de l'évaluation.

## 5 Refroidissement général

### 5.1 Aperçu général

L'équilibre thermique corporel est défini par une équation générale dont les facteurs déterminants sont les propriétés thermiques du vêtement, la production de chaleur corporelle et les caractéristiques physiques de l'environnement. L'équation est résolue pour l'isolement thermique requis du vêtement (IREQ) qui permet de maintenir l'équilibre thermique en respectant les critères d'astreinte physiologique spécifiés. La valeur IREQ est ensuite comparée à la protection (isolement thermique) obtenue avec le vêtement du travailleur. Si l'isolement thermique du vêtement porté est inférieur à la valeur prescrite, une durée d'exposition admissible ( $D_{lim}$ ) est calculée à partir des niveaux acceptables de refroidissement corporel. Les Annexes A et B proposent des formules détaillées ainsi que des coefficients et des critères.

La méthode implique l'exécution de la procédure suivante qui est schématiquement représentée sur la Figure 1:

- mesurer les paramètres thermiques de l'environnement;
- déterminer le niveau d'activité (métabolisme énergétique);
- calculer la valeur IREQ;
- comparer la valeur IREQ à l'isolement thermique résultant obtenu avec le vêtement actuellement utilisé;
- évaluer les conditions d'équilibre thermique et calculer la durée d'exposition admissible recommandée ( $D_{lim}$ ).

## 5.2 Définition de l'isolement thermique requis, IREQ

Par définition, IREQ est l'isolement thermique résultant d'un vêtement, requis dans les conditions ambiantes réelles afin de maintenir le corps dans un état d'équilibre thermique à des niveaux acceptables de température du corps et de température cutanée.

IREQ est

- a) une grandeur de mesure de la contrainte liée au froid, qui tient compte des effets de la température de l'air, de la température moyenne de rayonnement, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air pour des niveaux définis de métabolisme énergétique,
- b) une méthode qui permet d'analyser les effets de l'environnement thermique et du métabolisme énergétique sur le corps humain,
- c) une méthode qui permet de définir les exigences relatives à l'isolement thermique du vêtement et de choisir ensuite le vêtement à utiliser dans les conditions réelles, et
- d) une méthode qui permet d'évaluer les variations des paramètres de l'équilibre thermique comme les mesures destinées à apporter des améliorations à la conception et de planifier la durée et les régimes de travail dans des conditions froides.

## 5.3 Paramètre de calcul de l'indicateur IREQ

### 5.3.1 Équation générale d'équilibre thermique

Le calcul de la valeur IREQ est basé sur l'analyse rationnelle de l'échange de chaleur entre l'homme et son environnement. Les paragraphes suivants examinent les principes généraux qui permettent de calculer les différents paramètres de calcul de la valeur IREQ.

L'équation générale suivante [Équation (1)] définit les conditions d'équilibre thermique:

$$M - W = E_{res} + C_{res} + E + K + R + C + S \quad (1)$$

où le terme de gauche, qui représente la production interne de chaleur, est équilibré par le terme de droite, qui représente la somme des échanges thermiques dans les voies respiratoires, des échanges thermiques sur la peau et de la chaleur accumulée dans le corps. Les variables de l'Équation (1) sont définies dans les paragraphes suivants. Pour la signification des symboles, voir également 3.2.

### 5.3.2 Métabolisme énergétique

$M$  est le métabolisme énergétique évalué conformément à l'ISO 8996.

### Environnement froid

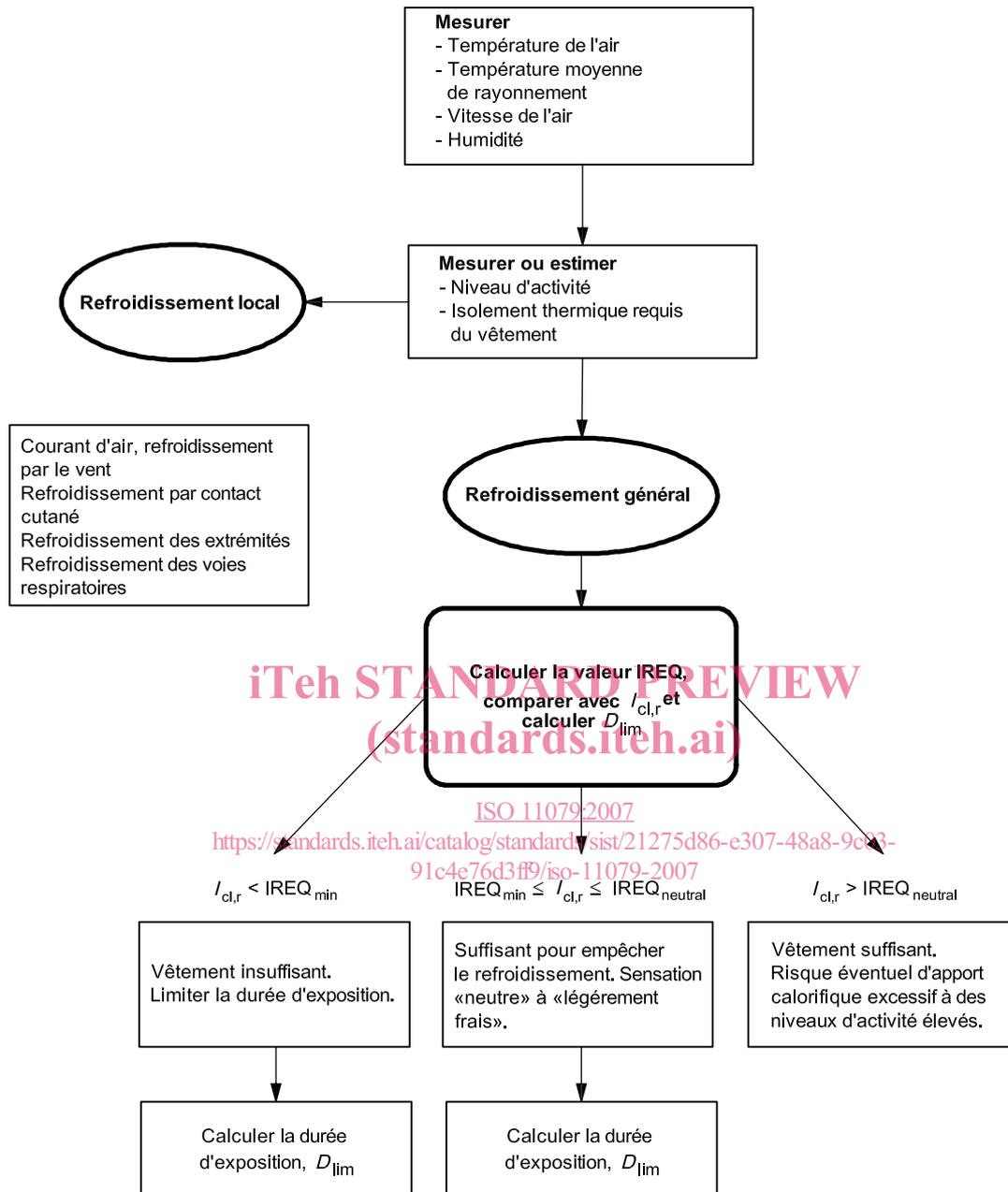


Figure 1 — Mode opératoire pour évaluer les environnements froids

### 5.3.3 Puissance mécanique utile

$W$  est la puissance mécanique utile. Dans la plupart des situations industrielles, cette puissance est faible et négligeable. Voir aussi l'information donnée dans l'ISO 8996.

### 5.3.4 Échange thermique respiratoire

Les voies respiratoires perdent de la chaleur en réchauffant et en saturant l'air inspiré. La quantité de chaleur perdue est la somme des pertes de chaleur par convection ( $C_{\text{res}}$ ) et par évaporation ( $E_{\text{res}}$ ), respectivement déterminées par les équations

$$C_{\text{res}} = c_p \cdot V(t_{\text{ex}} - t_a) / A_{\text{Du}} \quad (2)$$

$$E_{\text{res}} = c_e \cdot V(W_{\text{ex}} - W_a) / A_{\text{Du}} \quad (3)$$

### 5.3.5 Échange thermique par évaporation

L'échange thermique par évaporation,  $E$ , est défini par l'équation

$$E = (p_{\text{sk}} - p_a) / R_{e,T} \quad (4)$$

### 5.3.6 Échange thermique par conduction

L'échange thermique par conduction ( $K$ ) dépend de la surface des parties corporelles en contact direct avec les surfaces externes. Bien que ce paramètre puisse avoir un impact non négligeable sur l'équilibre thermique local, il est souvent faible et peut être inclus dans les expressions des échanges thermiques par convection et par rayonnement.

### 5.3.7 Échange thermique par rayonnement

L'échange thermique par rayonnement ( $R$ ) entre la surface du vêtement (peau non recouverte incluse) et l'environnement est défini par l'équation:

$$R = f_{\text{cl}} \cdot h_r \cdot (t_{\text{cl}} - \bar{t}_r) \quad (5)$$

### 5.3.8 Échange thermique par convection

L'échange thermique par convection ( $C$ ) entre la surface du vêtement (peau non recouverte incluse) et l'environnement est défini par l'équation

$$C = f_{\text{cl}} \cdot h_c \cdot (t_{\text{cl}} - t_a) \quad (6)$$

### 5.3.9 Échange thermique à travers le vêtement

L'échange de chaleur à travers le vêtement s'effectue par conduction, par convection et par rayonnement, ainsi que par le transfert de la sueur évaporée. L'Équation (4) tient compte de l'effet du vêtement sur l'échange de chaleur latente. L'effet du vêtement sur l'échange de chaleur sèche est déterminé par l'isolement thermique de l'ensemble vestimentaire et par le gradient de température entre les surfaces de la peau et du vêtement. Le flux de chaleur sèche jusqu'à la surface du vêtement équivaut au transfert de chaleur entre la surface du vêtement et l'environnement. Par conséquent, l'échange thermique à travers le vêtement peut être exprimé par l'isolement thermique résultant du vêtement:

$$\frac{\bar{t}_{\text{sk}} - t_{\text{cl}}}{I_{\text{cl,r}}} = R + C = M - W - E_{\text{res}} - C_{\text{res}} - E - S \quad (7)$$