

---

---

**Ergonomie des ambiances  
thermiques — Détermination  
analytique et interprétation de la  
contrainte thermique fondées sur  
le calcul de l'astreinte thermique  
prévisible**

*Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination  
and interpretation of heat stress using calculation of the predicted  
heat strain*

[ISO 7933:2023](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f4345279-fdb1-4ce1-a55b-e828fc3e9f25/iso-7933-2023)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f4345279-fdb1-4ce1-a55b-e828fc3e9f25/iso-7933-2023>



iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 7933:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f4345279-fdb1-4ce1-a55b-e828fc3e9f25/iso-7933-2023>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2023

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

Avant-propos .....	iv
Introduction .....	v
<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 et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b> <b>Symboles</b> .....	<b>1</b>
<b>5</b> <b>Principes du modèle d'astreinte thermique prévisible (PHS)</b> .....	<b>4</b>
<b>6</b> <b>Principales étapes de calcul</b> .....	<b>5</b>
6.1    Équation du bilan thermique .....	5
6.1.1    Généralités .....	5
6.1.2    Métabolisme énergétique, $M$ .....	5
6.1.3    Puissance mécanique utile, $W$ .....	5
6.1.4    Flux de chaleur par convection respiratoire, $C_{res}$ .....	5
6.1.5    Flux de chaleur par évaporation respiratoire, $E_{res}$ .....	5
6.1.6    Flux de chaleur par conduction, $K$ .....	5
6.1.7    Flux de chaleur par convection, $C$ .....	6
6.1.8    Flux de chaleur par rayonnement, $R$ .....	6
6.1.9    Flux de chaleur par évaporation, $E$ .....	6
6.1.10    Stockage de chaleur lié à l'élévation de la température corporelle centrale associée au métabolisme énergétique, $Q_{eqi}$ .....	6
6.1.11    Stockage de chaleur, $S$ .....	6
6.2    Calcul du flux de chaleur par évaporation requis, de la mouillure cutanée requise et du débit sudoral requis .....	7
<b>7</b> <b>Interprétation du débit sudoral requis</b> .....	<b>7</b>
7.1    Base de la méthode d'interprétation .....	7
7.1.1    Généralités .....	7
7.1.2    Critères de contrainte .....	7
7.1.3    Limites d'astreinte .....	8
7.1.4    Valeurs repères .....	8
7.2    Analyse de la situation de travail .....	8
7.3    Détermination de la durée d'exposition admissible, $D_{lim}$ .....	8
<b>Annexe A (normative) Données nécessaires au calcul du bilan thermique</b> .....	<b>10</b>
<b>Annexe B (informative) Critères d'estimation de la durée d'exposition admissible dans un           environnement de travail chaud</b> .....	<b>18</b>
<b>Annexe C (informative) Métabolisme énergétique</b> .....	<b>20</b>
<b>Annexe D (informative) Caractéristiques thermiques de la tenue vestimentaire</b> .....	<b>21</b>
<b>Annexe E (informative) Programme informatique permettant le calcul du modèle           d'astreinte thermique prévisible</b> .....	<b>23</b>
<b>Annexe F (informative) Exemples de calculs du modèle d'astreinte thermique prévisible</b> .....	<b>28</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>29</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. L'ISO ne saurait être tenue 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 technique ISO/TC 159, *Ergonomie*, sous-comité SC 5, *Ergonomie de l'environnement physique*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 122, *Ergonomie*, 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 7933:2004), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- le débit sudoral maximal  $S_{Wmax}$  décrit en [B.4](#) a été corrigé, c'est-à-dire qu'il n'est plus ajusté en fonction du métabolisme énergétique;
- le modèle n'ayant pas été validé de manière approfondie pour des conditions avec des paramètres environnementaux, un métabolisme énergétique et/ou des vêtements instables, une mise en garde a été ajoutée pour les cas où ces paramètres varient considérablement avec le temps.

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/fr/members.html](http://www.iso.org/fr/members.html).

## Introduction

L'ISO 15265 décrit la stratégie d'évaluation pour la prévention de l'inconfort ou des effets sur la santé dans toutes les conditions de travail thermiques, tandis que l'ISO 8025<sup>1)</sup> recommande des pratiques spécifiques concernant les environnements de travail chauds. Pour les environnements chauds, ces normes proposent de se fonder sur l'indice de contrainte thermique WBGT (température humide et de globe noir) décrit dans l'ISO 7243 comme méthode d'examen préalable, permettant d'établir la présence ou l'absence de contrainte thermique, et sur la méthode plus élaborée décrite dans le présent document afin d'obtenir une estimation plus précise de la contrainte, de déterminer les durées de travail admissibles dans ces conditions et d'optimiser les méthodes de protection. Cette méthode, basée sur une analyse de l'échange de chaleur entre une personne et l'environnement, est destinée à être utilisée directement lorsqu'il est souhaitable de réaliser une analyse détaillée des conditions de travail à la chaleur.

Le présent document permet de prédire l'évolution de certains paramètres physiologiques (températures cutanée et rectale, ainsi que débit sudoral) dans le temps pour une personne travaillant dans un environnement chaud. Cette prédiction est réalisée en fonction des paramètres climatiques, de la dépense énergétique de la personne et de ses vêtements. Elle est réalisée pour une personne moyenne et il convient de l'utiliser pour évaluer le risque de contrainte thermique chez un groupe de personnes; elle ne peut pas prédire les réactions d'une personne en particulier.

Le présent document est fondé sur les apports scientifiques les plus récents. Les améliorations futures apportées aux équations de calcul des différents termes du bilan thermique ainsi qu'à son interprétation seront prises en compte au fur et à mesure de leur acquisition.

Les spécialistes en médecine du travail sont chargés d'évaluer les risques encourus par un individu donné en tenant compte de ses caractéristiques spécifiques qui peuvent différer de celles d'un sujet standard. L'ISO 9886 décrit la manière dont les paramètres physiologiques sont utilisés pour surveiller le comportement physiologique d'une personne en particulier et l'ISO 12894 décrit la manière dont la surveillance médicale est organisée. [ISO 7933:2023](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f4345279-fdb1-4ce1-a55b-e828fc3e9f25/iso-7933-2023)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f4345279-fdb1-4ce1-a55b-e828fc3e9f25/iso-7933-2023>

---

1) En préparation. Stade au moment de la publication : ISO/DIS 8025:2023.



# Ergonomie des ambiances thermiques — Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de l'astreinte thermique prévisible

## 1 Domaine d'application

Le présent document décrit un modèle [le modèle d'astreinte thermique prévisible (PHS)] pour la détermination analytique et l'interprétation de la contrainte thermique (en matière de perte hydrique et de température rectale) subie par une personne moyenne dans un environnement chaud et détermine les durées limites d'exposition admissibles pendant lesquelles l'astreinte physiologique est acceptable pour 95 % de la population exposée (la température rectale maximale tolérable et la perte hydrique maximale tolérable ne sont pas dépassées par 95 % des personnes exposées).

Les divers termes intervenant dans ce modèle prédictif et, notamment, dans le bilan thermique, permettent de déterminer les parts respectives prises par les divers paramètres physiques de l'environnement dans la contrainte thermique subie par la personne moyenne. Le présent document permet ainsi de déterminer sur quel paramètre ou ensemble de paramètres il est possible d'agir, et dans quelle mesure, afin de réduire le risque d'astreinte physiologique excessive.

Dans sa forme actuelle, cette méthode d'évaluation ne peut pas être utilisée dans le cas du port de vêtements spéciaux de protection (par exemple, des vêtements entièrement réfléchissants, réfrigérés et ventilés, des combinaisons imperméables).

Le présent document ne vise pas à prédire la réponse physiologique d'une personne donnée, mais concerne uniquement une personne moyenne en bonne santé et apte à faire son travail. Il est par conséquent destiné à être utilisé, entre autres, par des ergonomes et des hygiénistes du travail, car les résultats peuvent nécessiter une interprétation par des experts. Des recommandations sur comment et quand utiliser ce modèle sont données dans l'ISO 8025.

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

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 13731 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/>

## 4 Symboles

Pour les besoins du présent document, les symboles et unités énumérés dans le [Tableau 1](#) s'appliquent.

Tableau 1 — Symboles et unités

Symbole	Terme	Unité
$\alpha$	fraction de masse corporelle à la température de la peau	—
$\alpha_i$	fraction de masse corporelle à la température de la peau au temps $t_i$	—
$\alpha_{i-1}$	fraction de masse corporelle à la température de la peau au temps $t_{i-1}$	—
$\beta_{im}$	facteur de correction pour l'indice de perméabilité statique à l'humidité	—
$\beta_{la}$	facteur de correction pour l'isolement thermique statique de la couche limite	—
$\beta_{lcl}$	facteur de correction pour l'isolement thermique statique du vêtement	—
$\beta_{IT}$	facteur de correction pour l'isolement thermique statique total du vêtement	—
$\varepsilon_{cl}$	émissivité de la surface extérieure du vêtement, en presumant qu'elle n'est pas réfléchissante	—
$\varepsilon_{cl,r}$	émissivité de la surface extérieure du vêtement	—
$\theta$	angle formé par le sens de marche et la direction du vent	—
$A_{Du}$	surface du corps selon DuBois	m <sup>2</sup>
$A_p$	fraction de surface du corps recouverte par le vêtement réfléchissant	—
$A_r$	surface effective de rayonnement d'un corps	m <sup>2</sup>
$C$	flux de chaleur par convection	W·m <sup>-2</sup>
$c_e$	chaleur latente de vaporisation de l'eau	J·kg <sup>-1</sup>
$c_p$	chaleur massique de l'air sec à pression constante	J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
$c_{p,b}$	chaleur massique du corps	J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
$C_{res}$	flux de chaleur par convection respiratoire	W·m <sup>-2</sup>
$D_{lim}$	durée d'exposition admissible	min
$D_{lim,tc}$	durée d'exposition admissible vis-à-vis du stockage de chaleur	min
$D_{lim,loss}$	durée d'exposition admissible vis-à-vis de la perte hydrique, 95 % des travailleurs	min
$D_{max}$	perte hydrique maximale	g·m <sup>-2</sup>
$E_{max}$	flux de chaleur par évaporation maximal au niveau de la peau	W·m <sup>-2</sup>
$E_p$	flux de chaleur par évaporation prévisible au niveau de la peau	W·m <sup>-2</sup>
$E_{req}$	flux de chaleur par évaporation requis au niveau de la peau	W·m <sup>-2</sup>
$E_{res}$	flux de chaleur par évaporation respiratoire	W·m <sup>-2</sup>
$f_{cl}$	facteur de surface du vêtement	—
$F_r$	coefficients de réflexion de différents matériaux spéciaux	—
$h_c$	coefficient de transfert de chaleur par convection	W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup>
$h_r$	coefficient de transfert de chaleur par rayonnement	W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup>
$I_{a,r}$	isolement thermique résultant de la couche limite	m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup>
$I_a$	isolement thermique statique (ou intrinsèque) de la couche limite	m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup>
$I_{cl,r}$	isolement thermique vestimentaire résultant	m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup>
$I_{cl}$	isolement thermique statique (ou intrinsèque) du vêtement	m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup>
$i_{m,r}$	indice de perméabilité résultante à l'humidité	—
$i_m$	indice de perméabilité statique (ou intrinsèque) à l'humidité	—
$I_{T,r}$	isolement thermique résultant total du vêtement	m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup>
$I_T$	isolement thermique statique (ou intrinsèque) total du vêtement	m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup>
$K$	flux de chaleur par conduction	W·m <sup>-2</sup>
$k_{Sw}$	constante de temps de l'augmentation du débit sudoral	min
$k_{tc}$	constante de temps de la variation de la température corporelle centrale en fonction du métabolisme énergétique	min
$k_{tsk}$	constante de temps de la variation de la température cutanée	min



Tableau 1 (suite)

Symbole	Terme	Unité
$M$	métabolisme énergétique	$W \cdot m^{-2}$
$p_a$	pression partielle de vapeur d'eau à la température de l'air	kPa
$Q_{tot,i}$	stockage de chaleur au cours du dernier intervalle de temps au temps $t_i$	$W \cdot m^{-2}$
$Q_{eq,i}$	stockage de chaleur au cours du dernier intervalle de temps au temps $t_i$ , dû à l'élévation de la température corporelle centrale associée au métabolisme énergétique	$W \cdot m^{-2}$
$R$	flux de chaleur par rayonnement	$W \cdot m^{-2}$
$R_{e,T,r}$	résistance résultante totale du vêtement à la vapeur d'eau	$m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$
$r_{req}$	rendement évaporatoire requis de la sudation	—
$S$	débit de stockage de chaleur dans le corps	$W \cdot m^{-2}$
$S_{eq}$	stockage de chaleur dans le corps lié à l'élévation de la température corporelle centrale associée au métabolisme énergétique	$W \cdot m^{-2}$
$S_{Wmax}$	capacité de débit sudoral maximal	$W \cdot m^{-2}$
$S_{Wp}$	débit sudoral prévisible	$W \cdot m^{-2}$
$S_{Wp,i}$	débit sudoral prévisible au temps $t_i$	$W \cdot m^{-2}$
$S_{Wp,i-1}$	débit sudoral prévisible au temps $t_{i-1}$	$W \cdot m^{-2}$
$S_{Wreq}$	débit sudoral requis	$W \cdot m^{-2}$
$t$	temps	min
$t_a$	température de l'air	°C
$t_{cl}$	température de la surface du vêtement	°C
$t_{cr}$	température corporelle centrale	°C
$t_{cr,eq i}$	température corporelle centrale en fonction du métabolisme énergétique au temps $t_i$	°C
$t_{cr,eq i-1}$	température corporelle centrale en fonction du métabolisme énergétique au temps $t_{i-1}$	°C
$t_{cr,eqm}$	valeur d'équilibre de la température corporelle centrale en fonction du métabolisme énergétique	°C
$t_{cr,i}$	température corporelle centrale au temps $t_i$	°C
$t_{cr,i-1}$	température corporelle centrale au temps $t_{i-1}$	°C
$t_{ex}$	température de l'air expiré	°C
$t_r$	température moyenne de rayonnement	°C
$t_{re}$	température rectale	°C
$t_{re,max}$	température rectale maximale	°C
$t_{re,i}$	température rectale au temps $t_i$	°C
$t_{re,i-1}$	température rectale au temps $t_{i-1}$	°C
$t_{sk}$	température cutanée	°C
$t_{sk,eq}$	température cutanée moyenne d'équilibre	°C
$t_{sk,eq,cl}$	température cutanée moyenne d'équilibre d'une personne vêtue	°C
$t_{sk,eq,nu}$	température cutanée moyenne d'équilibre d'une personne nue	°C
$t_{sk,i}$	température cutanée moyenne au temps $t_i$	°C
$t_{sk,i-1}$	température cutanée moyenne au temps $t_{i-1}$	°C
$V_{ex}$	débit volumique expiré	$L \cdot \text{min}^{-1}$
$v_a$	vitesse de l'air	$m \cdot s^{-1}$
$v_{ar}$	vitesse relative de l'air	$m \cdot s^{-1}$
$v_w$	vitesse de marche	$m \cdot s^{-1}$
$W$	puissance mécanique utile	$W \cdot m^{-2}$
$W_a$	rapport d'humidité de l'air inhalé	$kg_{eau}/kg_{air}$

Tableau 1 (suite)

Symbole	Terme	Unité
$W_b$	masse corporelle	kg
$W_{ex}$	rapport d'humidité de l'air expiré	$\text{kg}_{\text{eau}}/\text{kg}_{\text{air}}$
$w$	mouillure cutanée	—
$w_{\text{max}}$	mouillure cutanée maximale	—
$w_p$	mouillure cutanée prévisible	—
$w_{\text{req}}$	mouillure cutanée requise	—

## 5 Principes du modèle d'astreinte thermique prévisible (PHS)

**AVERTISSEMENT** — Le modèle n'a pas été validé de manière approfondie pour des conditions avec des paramètres environnementaux, un métabolisme énergétique et/ou des vêtements instables et doit donc être utilisé avec précaution dans les cas où ces paramètres varient considérablement avec le temps. Il ne permet pas aux utilisateurs de déterminer valablement la durée nécessaire à une personne moyenne dont la température rectale a atteint 38 °C ou plus, pour retrouver une température rectale de 36,8 °C.

Le modèle PHS est basé sur le bilan du corps en énergie thermique, qui nécessite les valeurs des paramètres suivants:

- a) les paramètres de l'environnement thermique tels que mesurés ou estimés conformément à l'ISO 7726:
  - température de l'air,  $t_a$ ;
  - température moyenne de rayonnement,  $t_r$ ;
  - pression partielle de vapeur d'eau,  $p_a$ ;
  - vitesse de l'air,  $v_a$ ;
- b) le métabolisme énergétique,  $M$ , tel que mesuré ou estimé à l'aide de l'ISO 8996 ou d'autres méthodes d'une précision supérieure ou égale;
- c) les caractéristiques thermiques statiques de la tenue vestimentaire, telles que mesurées ou estimées à l'aide de l'ISO 9920 ou d'autres méthodes d'une précision supérieure ou égale.

L'Article 6 décrit les principes de calcul des différents échanges de chaleur intervenant dans l'équation du bilan thermique, ainsi que ceux de la perte sudoral nécessaire au maintien de l'équilibre thermique du corps. Les expressions mathématiques figurant à l'Annexe A doivent être utilisées pour ces calculs.

L'Article 7 décrit la méthode d'interprétation des résultats de l'Article 6, qui conduit à la détermination du débit sudoral prévisible, de la température rectale prévisible et des durées d'exposition admissibles. La détermination des durées d'exposition admissibles est menée sur la base de deux limites d'astreinte: la température rectale maximale admissible et la perte hydrique maximale admissible, indiquées à l'Annexe B.

La précision avec laquelle sont évalués le débit sudoral prévisible et les durées limites d'exposition est fonction du modèle retenu (c'est-à-dire des expressions de l'Annexe A) et des valeurs limites adoptées. Elle dépend également de la précision d'estimation et de mesurage des paramètres physiques, du métabolisme énergétique et de l'isolement thermique de la tenue vestimentaire.

## 6 Principales étapes de calcul

### 6.1 Équation du bilan thermique

#### 6.1.1 Généralités

Le bilan du corps humain en énergie thermique peut s'écrire conformément à la [Formule \(1\)](#):

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

Cette équation exprime que la production de chaleur interne du corps, qui correspond au métabolisme énergétique,  $M$ , moins la puissance mécanique utile,  $W$ , est compensée par les échanges de chaleur, au niveau des voies respiratoires, par convection,  $C_{\text{res}}$ , et évaporation,  $E_{\text{res}}$ , ainsi que par les échanges de chaleur, au niveau de la peau, par conduction,  $K$ , convection,  $C$ , rayonnement,  $R$ , et évaporation,  $E$ .

Si le bilan n'est pas satisfait, un excès d'énergie est stocké dans le corps,  $S$ .

Les différents termes de la [Formule \(1\)](#) sont successivement passés en revue en [6.1.2](#) à [6.1.11](#) avec les principes de calcul (les expressions normatives pour les calculs sont fournies à l'[Annexe A](#)).

#### 6.1.2 Métabolisme énergétique, $M$

L'estimation ou le mesurage du métabolisme énergétique est décrit dans l'ISO 8996. Des indications pour l'évaluation du métabolisme énergétique sont données dans l'[Annexe C](#).

#### 6.1.3 Puissance mécanique utile, $W$

Dans la plupart des situations industrielles, la puissance mécanique utile est faible et peut être ignorée, c'est-à-dire  $W = 0$ .

#### 6.1.4 Flux de chaleur par convection respiratoire, $C_{\text{res}}$

Le flux de chaleur par convection respiratoire est exprimé, en principe, par la [Formule \(2\)](#):

$$C_{\text{res}} = 0,000\ 02c_p \times V_{\text{ex}} \times \left( \frac{t_{\text{ex}} - t_a}{A_{\text{Du}}} \right) \quad (2)$$

#### 6.1.5 Flux de chaleur par évaporation respiratoire, $E_{\text{res}}$

Le flux de chaleur par évaporation respiratoire est exprimé, en principe, par la [Formule \(3\)](#):

$$E_{\text{res}} = 0,000\ 02c_e \times V_{\text{ex}} \times \left( \frac{W_{\text{ex}} - W_a}{A_{\text{Du}}} \right) \quad (3)$$

#### 6.1.6 Flux de chaleur par conduction, $K$

Le flux de chaleur par conduction thermique se produit sur les surfaces du corps en contact avec des éléments solides. En général, il est relativement faible et ignoré.

NOTE L'ISO 13732-1 traite spécifiquement des risques de douleur et de brûlure lorsque des parties du corps entrent en contact avec des surfaces chaudes.

### 6.1.7 Flux de chaleur par convection, $C$

Le flux de chaleur par convection au niveau de la peau nue est exprimé par la [Formule \(4\)](#):

$$C = h_c \times (t_{sk} - t_a) \quad (4)$$

Pour les personnes vêtues, le flux de chaleur par convection se produit à la surface de la tenue vestimentaire et est exprimé par la [Formule \(5\)](#):

$$C = h_c \times f_{cl} \times (t_{cl} - t_a) \quad (5)$$

L'[Annexe D](#) fournit quelques indications sur l'évaluation des caractéristiques thermiques des vêtements.

### 6.1.8 Flux de chaleur par rayonnement, $R$

Le flux de chaleur par rayonnement est exprimé par la [Formule \(6\)](#):

$$R = h_r \times f_{cl} \times (t_{cl} - t_a) \quad (6)$$

où  $h_r$  est le coefficient de transfert de chaleur par rayonnement et tient compte des caractéristiques du vêtement (par exemple émissivité et présence de vêtements réfléchissants) et de la surface effective de rayonnement de la personne en lien avec sa posture (par exemple personne debout, assise ou accroupie).

### 6.1.9 Flux de chaleur par évaporation, $E$

Le flux de chaleur par évaporation maximal,  $E_{max}$ , est celui qui peut être atteint dans l'hypothèse où la peau est totalement mouillée. Dans ces conditions, la [Formule \(7\)](#) s'applique:

$$E_{max} = \frac{p_{sk,s} - p_a}{R_{e,T,r}} \quad (7)$$

où la résistance dynamique totale du vêtement à la vapeur d'eau,  $R_{e,T,r}$ , tient compte des caractéristiques du vêtement ainsi que des mouvements de la personne et de l'air.

Le flux réel de chaleur par évaporation,  $E$ , dépend de la fraction,  $w$ , de surface cutanée mouillée par la sueur, et il est donné par la [Formule \(8\)](#):

$$E = w \times E_{max} \quad (8)$$

### 6.1.10 Stockage de chaleur lié à l'élévation de la température corporelle centrale associée au métabolisme énergétique, $Q_{eqi}$

Même dans un environnement neutre, la température corporelle centrale augmente pour s'approcher d'une valeur d'équilibre,  $t_{cr,eq}$ , en fonction du métabolisme énergétique.

La température corporelle centrale atteint cette température d'équilibre de façon exponentielle en fonction du temps. Le stockage de chaleur associé à l'élévation de température du temps  $t_{i-1}$  au temps  $t_i$ ,  $Q_{eqi}$  ne participe pas au déclenchement de la sudation et il convient par conséquent de le déduire de la [Formule \(1\)](#).

### 6.1.11 Stockage de chaleur, $S$

Le stockage de chaleur dans le corps correspond à la somme algébrique des flux de chaleur définis précédemment.