NORME INTERNATIONALE

ISO 18640-1

Première édition
2018-05

Vêtements de protection pour sapeurs-pompiers — Effet physiologique —

Partie 1: Mesurage du transfert couplé de chaleur et d'humidité à l'aide du torse transpirant

Protective clothing for firefighters — Physiological impact —

Part 1: Measurement of coupled heat and moisture transfer with the sweating torso

Numéro de référence
ISO 18640-1:2018(F)

© ISO 2018



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2018

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
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos ..... **v**
Introduction ..... **vi**
1 Domaine d'application **1**
2 Références normatives **1**
3 Termes et définitions **2**
4 Symboles et abréviations **4**
5 Appareillage **4**
5.1 Torse transpirant 5
5.1.1 Généralités 5
5.1.2 Cylindre chauffé 6
5.1.3 Sections de protection thermique 6
5.1.4 Chauffage et régulation de la température 6
5.1.5 Mesurage de la température 6
5.1.6 Simulation de la transpiration 6
5.1.7 Couche drainante 7
5.1.8 Balance de mesure de la masse du torse 7
5.2 Ordinateur, système de commande et acquisition de données 7
5.2.1 Généralités 7
5.2.2 Ordinateur et logiciel de mesure 7
5.2.3 Système de commande 7
5.2.4 Acquisition de données 8
5.2.5 Options de maîtrise du mesurage 8
5.3 Enceinte climatique 8
5.3.1 Généralités 8
5.3.2 Capteurs de l'enceinte climatique 8
5.4 Système de ventilation 9
5.5 Alimentation en eau simulant la sueur 9
5.5.1 Système gravimétrique de commande de l'eau simulant la transpiration 9
5.6 Simulation des couches d'air 10
6 Échantillonnage et éprouvettes d'essai **11**
6.1 Généralités 11
6.1.1 Dimensions des échantillons 11
6.1.2 Type d'éprouvette d'essai 12
6.1.3 Spécification du vêtement/ensemble de vêtements 12
6.2 Nombre d'éprouvettes d'essai 12
7 Préparation des éprouvettes **12**
7.1 Traitement préalable 12
7.2 Conditionnement 13
8 Mode opératoire de mesurage **13**
8.1 Préparation de l'essai 13
8.1.1 Préparation de l'enceinte climatique 13
8.1.2 Vitesse du vent 13
8.2 Essais sur éprouvettes 14
8.2.1 Généralités 14
8.2.2 Habillage du torse 15
8.2.3 Enregistrement de l'identification de l'éprouvette et des observations au cours de l'essai 15
8.2.4 Démarrage de l'essai 15
8.2.5 Valeurs calculées 16
9 Rapport d'essai **19**
9.1 Généralités 19

© ISO 2018 – Tous droits réservés

9.2 Identification de l'éprouvette 19
9.3 Conditions expérimentales 19
9.4 Résultats calculés 20

10 Maintenance et étalonnage 20
10.1 Maintenance 20
10.1.1 Réservoir d'eau simulant la sueur 20
10.1.2 Vérifications des vannes 20
10.2 Étalonnage 20
10.2.1 Généralités 20
10.2.2 Valeur de correction de la résistance thermique $R_{ct0\ (torse)}$ 20
10.2.3 Couche drainante 21
10.2.4 Capteurs de température du torse 21
10.2.5 Puissance de chauffage du torse 21
10.2.6 Débit sudoral du torse 21
10.2.7 Conditions environnementales 21
10.3 Expériences avec une étoffe étalon (facultatives) 21

Annexe A (informative) **Dimensions du torse et définition des matériaux 23**

Annexe B (informative) **Étalonnage 27**

Annexe C (informative) **Exemple d'évaluation des données 29**

Annexe D (informative) **Exemple de liste de contrôle 33**

Annexe E (informative) **Validation du dispositif de mesurage 34**

Annexe F (informative) **Exemple de code MATLAB 35**

Bibliographie 39

 © ISO 2018 – Tous droits réservés

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).

L'attention est attirée 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).

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 www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 94, *Sécurité individuelle*, sous-comité SC 14, *Équipements individuels pour les sapeurs-pompiers*.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 18640 se trouve sur le site Web de l'ISO.

© ISO 2018 – Tous droits réservés

Introduction

Les principales fonctions des vêtements de protection sont d'assurer une protection contre les phénomènes dangereux et de préserver la santé et le confort de l'utilisateur. En outre, les vêtements de protection contre la chaleur et la flamme protègent l'utilisateur des risques pour sa santé ou même d'une contrainte thermique mettant sa vie en danger dans des conditions environnementales extrêmes. Les normes actuelles fournissent les exigences relatives aux propriétés de protection des vêtements de protection contre la chaleur et la flamme. Toutefois, plus les propriétés de protection de ces vêtements sont élevées, moins la chaleur provenant du corps humain est dissipée. Les sapeurs-pompiers atteignent des métabolismes énergétiques supérieurs à 500 W/m^2 pendant leurs activités[5][6]. Parmi ceux-ci, 75 % à 85 % sont libérés sous forme de chaleur[7], qui doit être dissipée du corps humain par des processus de thermorégulation afin d'éviter une augmentation de la température corporelle centrale. Si la dissipation thermique n'est pas limitée, le corps humain est capable de maintenir sa température dans la plage de 36,5 °C à 37,5 °C (normothermie)[8]. Toutefois, dans des conditions environnementales rudes et/ou lorsque la dissipation thermique est limitée par des vêtements de protection, le corps humain n'est pas en mesure de maintenir sa température corporelle centrale dans les limites de la normothermie et subit une contrainte thermique. La performance au travail est réduite progressivement et toute augmentation supplémentaire de la température corporelle centrale peut mettre la vie en danger[16]. Pour réduire le risque de contrainte thermique pendant des activités physiques intenses, il convient que les vêtements de protection soient également évalués en ce qui concerne leur effet sur la thermorégulation humaine et la contrainte thermique.

Différentes approches existent pour évaluer l'effet thermo-physiologique. D'une part, des paramètres normalisés établis tels que la résistance à la vapeur d'eau R_{et} et l'isolation thermique R_{ct} d'échantillons d'étoffe sont considérés au regard de l'effet thermorégulateur. Toutefois, ces paramètres ne reflètent pas totalement l'effet réel des vêtements de protection; par exemple, les propriétés de gestion de l'humidité et l'effet combiné du transfert de chaleur et d'humidité ne sont pas pris en compte. D'autre part, des essais réalisés sur des sujets humains mettent en évidence les réactions thermo-physiologiques réelles pour des conditions environnementales spécifiques et un ensemble de vêtements de protection. Cependant, le résultat obtenu avec cette méthodologie ne se rapporte pas uniquement aux propriétés intrinsèques des échantillons de matériau, mais il est également influencé par la conception des vêtements et par les couches d'air emprisonnées à l'intérieur des vêtements. De plus, les essais réalisés sur des sujets humains sont très longs et onéreux, limités par des règles éthiques et fournissent des données se rapportant à l'ensemble des participants. Par conséquent, la reproductibilité entre laboratoires peut être limitée. L'utilisation de mannequins thermiques permet de surmonter les limitations relatives aux essais sur des sujets humains. Comme pour les essais sur des sujets humains, les mannequins à corps entier fournissent des données sur les vêtements de protection prêts à porter, y compris la conception et la taille. Ainsi, l'attribution aux propriétés intrinsèques de l'étoffe reste difficile.

Une méthodologie se rapportant aux propriétés intrinsèques des vêtements et tenant compte du transfert combiné de chaleur et d'humidité utilise le torse transpirant[9][10]. Ce dispositif est un cylindre vertical chauffé représentant la surface d'un tronc humain et ayant la capacité de simuler la transpiration[11]. L'échantillon de vêtement est étudié en enveloppant le torse transpirant avec des éprouvettes. Trois phases sont exécutées pour mesurer les propriétés d'isolation thermique à sec, de transfert de chaleur à sec et à l'état humide et de séchage. Les données obtenues à l'aide du torse transpirant ont été validées par des méthodologies normalisées, telles que la plaque chaude gardée transpirante, et se sont avérées hautement reproductibles[11]. De plus, des études de validation ont été menées pour rapprocher ces mesures thermo-physiologiques humaines des données obtenues au moyen du torse transpirant dans des conditions environnementales réalistes et des activités de sapeurs-pompiers. À partir de ces connaissances, des lignes directrices sont fournies pour les propriétés intrinsèques du textile sur la base des réactions thermo-physiologiques. En plus de la méthode normalisée décrite ci-dessus, l'effet de systèmes de vêtements de protection plus complexes incluant des sous-vêtements, des couches d'air et/ou des caractéristiques de conception est étudié à titre facultatif en appliquant le même protocole expérimental que celui décrit dans le présent document.

© ISO 2018 – Tous droits réservés

Vêtements de protection pour sapeurs-pompiers — Effet physiologique —

Partie 1:
Mesurage du transfert couplé de chaleur et d'humidité à l'aide du torse transpirant

1 Domaine d'application

Le présent document fournit une méthode d'essai permettant d'évaluer l'effet physiologique d'ensembles d'étoffes de protection et d'ensembles vestimentaires potentiellement protecteurs au cours d'une série d'activités simulées (phases) dans des conditions ambiantes définies. Cette méthode d'essai normalisée caractérise les propriétés essentielles des assemblages d'étoffes d'un vêtement ou d'un ensemble de vêtements représentatifs pour l'évaluation thermo-physiologique:

— isolation thermique à sec;

— propriétés de refroidissement pendant une activité métabolique moyenne et de gestion de l'humidité (transfert de chaleur à sec et à l'état humide);

— comportement au séchage.

Des mesures par défaut sont réalisées sur des échantillons d'étoffe représentant le vêtement ou la combinaison de vêtements protecteurs. À titre facultatif et en plus de la méthode d'essai normalisée, le même protocole d'essai peut être appliqué pour caractériser des ensembles de vêtements de protection plus complexes, comprenant des sous-vêtements, des couches d'air et certaines caractéristiques de conception[1)]. Des mesures sont en outre réalisables sur des vêtements prêts à porter.

La présente méthode d'essai est destinée à être utilisée pour mesurer et décrire le comportement des assemblages d'étoffes d'un vêtement ou d'un ensemble de vêtements en réponse à une série d'activités simulée dans des conditions maîtrisées en laboratoire, les résultats étant utilisés pour optimiser les combinaisons de vêtements et le choix des matériaux. De plus, le présent document, conjointement avec l'ISO 18640-2, est destiné à être utilisé pour décrire l'effet thermo-physiologique des vêtements de protection, mais pas le risque de contrainte thermique dans des conditions réelles d'incendie. Les résultats de cet essai peuvent être utilisés comme éléments d'une appréciation du risque en fonction de la charge thermo-physiologique.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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 3696, *Eau pour laboratoire à usage analytique — Spécification et méthodes d'essai*

1) Une étude réalisée par Empa (Laboratoires fédéraux de la Suisse pour les matériaux, la science et la technologie) a montré une bonne corrélation entre les résultats des essais menés sur un torse normalisé (sans sous-vêtements ni couches d'air sur les étoffes) et les essais d'étoffes avec sous-vêtements, les essais d'étoffes avec sous-vêtements et couches d'air et les essais de vêtements prêts à porter (avec sous-vêtements et avec ou sans couches d'air) de la même composition de matériau. En raison des valeurs ajoutées d'isolation thermique des couches supplémentaires, une comparaison directe des résultats entre les différentes configurations de mesurage est cependant impossible.

© ISO 2018 – Tous droits réservés

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions 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 http://www.electropedia.org/

3.1
délai de refroidissement
CD
temps nécessaire pour que l'effet de refroidissement par évaporation soit détecté lors d'une phase expérimentale simulant une activité et la transpiration

Note 1 à l'article: Le délai de refroidissement est exprimé en minutes.

3.2
eau de sueur évaporée
fraction d'eau simulant la sueur fournie, qui s'est évaporée lors d'une phase active avec transpiration

3.3
phase expérimentale
partie d'une expérience avec un débit sudoral et une température de surface ou une puissance de chauffage définis; une expérience peut comporter plusieurs phases

Note 1 à l'article: Chaque phase simule une situation spécifique avec des réglages définis de température ou de puissance de chauffage et de débit de l'eau simulant la sueur. Une expérience normalisée comprend trois phases.

3.4
refroidissement initial
IC
vitesse à laquelle la température varie après un délai de refroidissement (CD) lors d'une phase expérimentale simulant une activité avec transpiration

Note 1 à l'article: Le refroidissement initial est exprimé en degrés (°C) par heure.

3.5
absorption d'humidité
quantité d'humidité stockée dans l'ensemble de vêtements, déterminée par la masse du torse

Note 1 à l'article: L'absorption d'humidité est exprimée en grammes.

3.6
post-refroidissement
PC
fin de la période de refroidissement lors d'une phase expérimentale sans transpiration ni puissance de chauffage, correspondant à un être humain au repos après une activité simulée

Note 1 à l'article: L'évaporation de l'humidité stockée extraira de l'énergie du torse transpirant qui peut être détectée par une diminution de la température de surface.

Note 2 à l'article: Le post-refroidissement est exprimé en minutes.

3.7
profil de phases
série de phases expérimentales définissant l'expérience

© ISO 2018 – Tous droits réservés

3.8
refroidissement entretenu
SC
vitesse à laquelle la température varie vers la fin d'une phase expérimentale simulant une activité avec transpiration (état stable de refroidissement)

Note 1 à l'article: Le refroidissement entretenu est exprimé en degrés (°C) par heure.

3.9
entretoise
couche d'air
cadre ou réglage visant à ajouter une couche d'air définie entre la surface du torse et le vêtement de protection à soumettre à l'essai

Note 1 à l'article: Il s'agit d'une simulation des couches d'air qui sont généralement observées en utilisation réelle. Une couche d'air influe sur la résistance thermique globale et le transport de l'humidité. Une entretoise peut être utilisée pour simuler une couche d'air définie.

3.10
eau simulant la sueur
alimentation en eau utilisée pour simuler la transpiration

3.10.1
système gravimétrique de distribution d'eau simulant la sueur
maîtrise de la distribution d'eau simulant la sueur, à l'aide d'un réservoir placé sur une balance avec une différence de hauteur définie par rapport aux buses de transpiration pour distribuer la quantité d'eau définie, en ouvrant et fermant les vannes dans un intervalle de temps ajusté

Note 1 à l'article: D'autres moyens peuvent être utilisés pour la distribution de l'eau simulant la sueur, dans la mesure où les exigences du présent document sont satisfaites.

3.11
résistance thermique
$R_{ct\ (torse)}$
valeur calculée à l'état stable à partir de la différence entre la température de surface du torse et la température ambiante, de la surface du dispositif et de la puissance de chauffage nécessaire pour maintenir la différence de température

Note 1 à l'article: La résistance thermique est exprimée en $m^2 \cdot K/W$.

3.11.1
valeur de correction pour $R_{ct\ (torse)}$
$R_{ct0\ (torse)}$
mesure de la résistance thermique sans échantillon sur le torse transpirant afin de déterminer une valeur de correction spécifique au système pour la résistance thermique $R_{ct\ (torse)}$

Note 1 à l'article: La résistance thermique telle que définie ci-dessus dépend de la géométrie de l'appareillage, des conditions de convection (vent ou sans courant d'air) et des conditions ambiantes. $R_{ct0\ (torse)}$ est une mesure cumulée de ceci et peut varier légèrement d'un dispositif à l'autre et d'une installation à l'autre. En la prenant en compte, il est possible de réduire les écarts entre les résultats obtenus pour différentes installations.

3.12
balance du torse
dispositif utilisé pour mesurer la masse du torse

3.13
température de surface du torse
température moyenne à la surface de la zone de mesurage du torse

3.14
masse du torse
masse totale du torse transpirant et de l'objet soumis à essai

© ISO 2018 – Tous droits réservés

3.15
total de l'eau simulant la sueur
quantité d'eau fournie à la surface du torse pendant une phase active avec transpiration

3.16
couche drainante
fine couche textile hydrophile avec des propriétés définies de transport de l'humidité et sur le plan thermique, utilisée pour une distribution homogène de l'eau simulant la sueur

3.17
vitesse du vent
vitesse ambiante du flux d'air autour du torse pendant une expérience

Note 1 à l'article: Pour éviter des couches d'air à limites non définies en raison d'un renouvellement d'air aléatoire dans l'enceinte et de la différence de température entre la surface du torse et l'enceinte climatique, un système de ventilation est utilisé. Le système de ventilation est constitué de ventilateurs permettant d'obtenir une vitesse de vent homogène définie de 1 m/s à la surface du torse (niveau de turbulence jusqu'à 25 %, mesuré à l'aide d'un anémomètre à fil chaud).

4 Symboles et abréviations

CD	Délai de refroidissement, en minutes
PE-HD	Polyéthylène haute densité
IC	Refroidissement initial, en °C/h
PC	Post-refroidissement, en minutes
PTFE	Polytétrafluoroéthylène
$R_{ct\ (torse)}$	Résistance thermique, en $m^2 \cdot K/W$
$R_{ct0\ (torse)}$	Valeur de correction pour $R_{ct\ (torse)}$
HR	Humidité relative
SC	Refroidissement entretenu, en °C/h
THS	Simulateur thermique humain

5 Appareillage

Le torse transpirant est un appareillage d'essai cylindrique vertical simulant le tronc humain, muni de gardes thermiques aux extrémités supérieure et inférieure (voir Figure 1). L'appareillage est équipé de films chauffants, de buses de transpiration, d'une enveloppe à plusieurs couches (simulant les couches de la peau) et de dispositifs électroniques pour commander les vannes et les capteurs.

L'ensemble du système de mesure (voir Figure 1) est constitué du torse transpirant (élément 1 de la légende) placé sur une balance (élément 2 de la légende) installée dans une enceinte climatique. Un système de ventilation (élément 3 de la légende) est utilisé pour régler la vitesse du vent. Le système de commande (élément 4 de la légende) (alimentations électriques, régulateurs et ordinateur avec système d'acquisition de données) peut être placé à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte. Un réservoir d'eau simulant la sueur, situé à l'extérieur de l'enceinte et placé sur une balance (élément 5 de la légende) fournit l'eau aux buses de transpiration. L'alimentation en eau est maîtrisée par des vannes.

NOTE La conception et le système de commande du torse transpirant ont été validés dans de nombreux projets de recherche concernant l'évaluation du transfert couplé de chaleur et de masse pour différents types de systèmes de vêtements (voir l'Annexe E).

© ISO 2018 – Tous droits réservés