



**Norme
internationale**

ISO 14505-2

**Ergonomie des ambiances
thermiques — Évaluation des
ambiances thermiques dans les
véhicules —**

**Partie 2:
Détermination de la température
équivalente**

*Ergonomics of the thermal environment — Evaluation of thermal
environments in vehicles —*

Part 2: Determination of equivalent temperature

**Deuxième édition
2026-08**

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2026

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
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Principes d'évaluation	2
4.1 Généralités	2
4.2 Description générale de la température équivalente	3
4.3 Principe général de détermination de la température équivalente	3
5 Températures équivalentes spécifiques	4
5.1 Généralités	4
5.2 Température équivalente du corps dans son ensemble	4
5.2.1 Principe de détermination	4
5.2.2 Calcul	4
5.3 Température équivalente segmentaire	5
5.3.1 Principe de détermination	5
5.3.2 Calcul	5
5.4 Température équivalente directionnelle	6
5.4.1 Principe de détermination	6
5.4.2 Calcul	6
5.5 Température équivalente omnidirectionnelle	7
5.5.1 Principe de détermination	7
5.5.2 Calcul	7
6 Instruments de mesure	7
7 Évaluation	8
7.1 Généralités	8
7.2 Détermination de la température équivalente du corps dans son ensemble	8
7.2.1 Généralités	8
7.2.2 Détermination avec des capteurs omnidirectionnels	8
7.2.3 Détermination avec un mannequin thermique	8
7.3 Détermination de la température équivalente locale	9
7.3.1 Généralités	9
7.3.2 Détermination avec des capteurs omnidirectionnels ou des capteurs plats chauffés	9
7.3.3 Détermination avec un mannequin thermique	9
8 Température de contact équivalente	9
8.1 Généralités	9
8.2 Méthodologie de calcul	10
Annexe A (informative) Exemples d'instruments de mesure	14
Annexe B (informative) Caractéristiques et spécifications des instruments de mesure	17
Annexe C (informative) Étalonnage et autres déterminations	23
Annexe D (informative) Interprétation de la température équivalente	25
Annexe E (informative) Exemples	30
Bibliographie	34

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'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse www.iso.org/brevets. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de brevet.

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 159, *Ergonomie*, sous-comité SC 5, *Ergonomie de l'environnement physique*, en collaboration avec le Comité européen de normalisation (CEN), comité technique CEN/TC 122, *Ergonomie*, conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 14505-2:2006/Cor 1:2007), qui a fait l'objet d'une révision technique.

La principale modification est la suivante:

- ajout d'une méthode d'évaluation des zones de contact (température de contact équivalente).

Une liste de toutes les parties de la série ISO 14505 se trouve sur le site web de l'ISO.

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.

Introduction

L'interaction entre les échanges thermiques par convection, par rayonnement et par conduction à l'intérieur d'un habitacle de véhicule ou dans des espaces confinés analogues est très complexe. Les charges thermiques extérieures associées au système de chauffage et de ventilation intérieure du véhicule créent un environnement thermique local qui peut varier de façon significative dans l'espace et dans le temps. Des conditions thermiques asymétriques se produisent et celles-ci sont souvent la principale cause de plaintes d'inconfort thermique. Dans les véhicules ne disposant pas d'un système de chauffage, de ventilation et de climatisation (système CVCA) ou dans lesquels ce système fonctionne de façon médiocre, la contrainte thermique est déterminée en général par l'impact des conditions climatiques ambiantes sur l'habitacle du véhicule.

Une évaluation subjective est par nature intégratrice, car l'individu regroupe en une réaction l'effet combiné de plusieurs stimuli thermiques. Cependant, elle n'est pas suffisamment détaillée et précise pour une utilisation répétée. Les mesures physiques fournissent des informations détaillées et précises, mais doivent être intégrées pour prévoir les effets thermiques sur l'homme. Étant donné que plusieurs facteurs climatiques influencent le bilan thermique définitif d'une personne, ces facteurs doivent être intégrés à une mesure respectant leur degré d'importance relative.

Le présent document comprend les modèles de température équivalente t_{eq} pour l'évaluation des conditions thermiques. Pour une considération particulière du siège, la température de contact équivalente $t_{eq,cont}$ peut être appliquée pour les compartiments du corps en contact avec les surfaces. Les méthodes de calcul de la t_{eq} utilisant des facteurs thermiques sont décrites dans l'ISO 14505-4. La méthode décrite dans le présent document peut également être utilisée dans des normes de performance spécifiques en vue de soumettre à essai les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (système CVCA) des véhicules et les espaces confinés analogues.

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Ergonomie des ambiances thermiques — Évaluation des ambiances thermiques dans les véhicules —

Partie 2: Détermination de la température équivalente

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie des exigences et des recommandations relatives à l'évaluation des conditions thermiques à l'intérieur d'un habitacle de véhicule. Elle peut également s'appliquer à d'autres espaces confinés où règnent des conditions climatiques asymétriques.

Elle s'applique à l'évaluation des conditions thermiques, lorsque les écarts par rapport à la neutralité thermique sont relativement faibles.

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 les définitions de l'ISO 13731 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 température équivalente

t_{eq}
température d'un espace homogène normalisé, dans lequel une personne échange la même déperdition de chaleur par convection et par rayonnement que dans les conditions réelles soumises à évaluation

Note 1 à l'article: L'espace homogène normalisé est défini comme un environnement dans lequel la température moyenne de rayonnement est égale à la température de l'air et dans lequel la vitesse de l'air est nulle.

3.2 température équivalente du corps dans son ensemble

$t_{eq,whole}$
température d'une enceinte imaginaire, dont la température des surfaces environnantes est égale à la température de l'air et où la vitesse de l'air est égale à zéro, dans laquelle un capteur chauffé, de forme humaine, grandeur nature, échangera la même chaleur sèche par rayonnement et par convection que dans le véritable environnement non uniforme

3.3**température équivalente segmentaire** $t_{eq,segment}$

température uniforme d'une enceinte imaginaire, dont la température des surfaces environnantes est égale à la température de l'air et où la vitesse de l'air est égale à zéro, dans laquelle une ou plusieurs zones sélectionnées d'un mannequin thermique échangeront la même chaleur sèche par rayonnement et par convection que dans le véritable environnement non uniforme

3.4**température équivalente directionnelle** $t_{eq,direct}$

température uniforme d'une enceinte imaginaire, dont la température des surfaces environnantes est égale à la température de l'air et où la vitesse de l'air est égale à zéro, dans laquelle une petite surface plate et chauffée échangera la même chaleur sèche par rayonnement et par convection que dans le véritable environnement non uniforme

3.5**température équivalente omnidirectionnelle** $t_{eq,omni}$

température uniforme d'une enceinte imaginaire, dont la température des surfaces environnantes est égale à la température de l'air et où la vitesse de l'air est égale à zéro, dans laquelle un ellipsoïde chauffé échangera la même chaleur sèche par rayonnement et par convection que dans le véritable environnement non uniforme

3.6**température de contact équivalente** $t_{eq,cont}$

température uniforme d'une surface de contact imaginaire dans un espace homogène normalisé, à laquelle une personne échangera la même quantité de chaleur sèche par conduction thermique pour une isolation de vêtements virtuels que dans l'environnement réel non uniforme

Note 1 à l'article: L'espace homogène normalisé est défini comme un environnement dans lequel la température moyenne de rayonnement est égale à la température de l'air et dans lequel la vitesse de l'air est nulle. Dans l'environnement réel non uniforme, la personne éprouve un transfert de chaleur sensible et latent aux parties du corps considérées.

3.7**segment**

partie d'un capteur de forme humaine correspondant en général à une partie réelle du corps, constituée d'une ou plusieurs zones entières pour lesquelles une température équivalente segmentaire, $t_{eq,segment}$, est déterminée

3.8**zone**

division physique d'un mannequin, régulée de manière indépendante, à l'intérieur de laquelle sont mesurés la température de surface et l'échange de chaleur

3.9**système de chauffage, ventilation et climatisation d'air****système CVCA**

dispositifs qui contrôlent la température, l'humidité et la pureté de l'air dans un espace clos

4 Principes d'évaluation**4.1 Généralités**

Le principe d'évaluation est fondé sur le mesurage de la température équivalente. La température équivalente fournit une estimation physique unifiée des effets climatiques sur l'échange de chaleur sèche du corps humain. En se basant sur la valeur réelle de la température équivalente et sur la variation de celle-ci, il est possible de prévoir les conditions propices à un équilibre thermique dans les conditions régnant dans

la zone de neutralité thermique ou proches de celle-ci. La sensation thermique des personnes est influencée principalement par des niveaux locaux et généraux et par des variations de flux de chaleur au niveau de la surface cutanée. Les valeurs de la température équivalente d'un environnement spécifié se sont révélées étroitement liées aux votes de sensation thermique des personnes exposées au même environnement^[12]. Cela peut être utilisé pour l'interprétation de la valeur de t_{eq} et l'évaluation de la qualité de l'environnement.

L'environnement thermique est évalué en termes de température équivalente totale, qui décrit le niveau de neutralité thermique.

L'environnement thermique est également évalué au niveau des effets locaux sur des parties spécifiées de la surface du corps humain. Les températures équivalentes locales déterminent dans quelle mesure les véritables parties du corps subissent des déperditions de chaleur demeurant dans des limites acceptables (inconfort local).

4.2 Description générale de la température équivalente

La température équivalente est une grandeur physique pure qui intègre les effets indépendants de la convection et du rayonnement sur l'échange de chaleur du corps humain. L'échange de chaleur globale (corps dans son ensemble) fournit la meilleure description de ce rapport. Pour les rapports entre l'échange de chaleur sèche locale et la température équivalente locale, l'expérience acquise est limitée. La définition normalisée de la t_{eq} s'applique uniquement au corps dans son ensemble. Par conséquent, la définition est modifiée pour les besoins du présent document. La t_{eq} ne prend pas en compte la perception et la sensation humaines ou d'autres aspects subjectifs. Cependant, des études empiriques montrent que les valeurs de t_{eq} sont étroitement liées à la perception subjective de l'effet thermique.

4.3 Principe général de détermination de la température équivalente

La détermination de la t_{eq} est basée sur les [Formules \(1\)](#) et [\(2\)](#) relatives au transfert de chaleur par convection et par rayonnement pour des personnes vêtues. L'échange de chaleur par conduction est supposé faible et est calculé en fonction du rayonnement et de la convection:

$$R = h_r \times (t_{sk} - \bar{t}_r) \quad (1)$$

$$C = h_c \times (t_{sk} - t_a) \quad (2)$$

où

R	est l'échange de chaleur par rayonnement, en watts par mètre carré (W/m ²);
C	est l'échange de chaleur par convection, en watts par mètre carré (W/m ²);
h_r	est le coefficient de transfert de chaleur par rayonnement, en watts par mètre carré Kelvin [W/(m ² K)];
h_c	est le coefficient de transfert de chaleur par convection, en watts par mètre carré Kelvin [W/(m ² K)];
t_{sk}	est la température cutanée, en degrés Celsius (°C);
$\bar{t}_r$	est la température moyenne de rayonnement, en degrés Celsius (°C);
t_a	est la température de l'air ambiant, en degrés Celsius (°C).

Dans la pratique, la température équivalente est déterminée selon la [Formule \(3\)](#) sur la base des déperditions de chaleur par convection et par rayonnement mesurées ([Formule \(4\)](#)):

$$t_{eq} = t_s - \frac{Q}{h_{cal}} \quad (3)$$

$$Q = R + C \quad (4)$$

où

t_s	est la température de surface, en degrés Celsius (°C);
t_{eq}	est la température de l'environnement normalisé, en degrés Celsius (°C);
Q	est la déperdition de chaleur par convection et par rayonnement mesurée dans les conditions réelles, en watts par mètre carré (W/m²);
h_{cal}	est le coefficient combiné de transfert de chaleur, déterminé lors de l'étalonnage dans un environnement normalisé, en watts par mètre carré Kelvin [W/(m² K)].

L'environnement normalisé comprend des conditions thermiques uniformes et homogènes avec $t_a = \bar{t}_r$ et la vitesse de l'air, $v_a < 0,1$ m/s. Un mode opératoire d'étalonnage approprié est décrit dans l'[Annexe C](#) informative.

5 Températures équivalentes spécifiques

5.1 Généralités

Étant donné qu'il n'existe aucune méthode pour mesurer la t_{eq} totale réelle ou locale, quatre températures équivalentes spécifiques sont calculées en fonction de différents principes de mesurage décrits en [5.2](#) à [5.5](#). En fonction des principes de mesurage, les éléments suivants sont spécifiés, et sont décrits plus en détail dans la Référence [\[13\]](#):

- température équivalente du corps dans son ensemble;
- température équivalente segmentaire;
- température équivalente directionnelle;
- température équivalente omnidirectionnelle.

5.2 Température équivalente du corps dans son ensemble

5.2.1 Principe de détermination

Le principe de la détermination consiste à mesurer le flux total de chaleur émise d'un mannequin d'essai de taille humaine comprenant plusieurs zones, chacune avec une température de surface mesurée spécifique similaire à celle d'un être humain. Théoriquement, la température équivalente du corps dans son ensemble peut être mesurée avec des mannequins thermiques ou un nombre important de capteurs plats chauffés attachés à un mannequin non chauffé. L'exactitude du résultat est fonction de la température de surface, de la taille du corps, du nombre de zones et leur division, de la posture, etc. Une méthode appropriée consiste à utiliser un mannequin thermique divisé en zones distinctes, chauffées individuellement, couvrant l'ensemble du corps, avec des températures de surface proches de celles d'un véritable être humain. Un mannequin de taille humaine avec seulement une zone ne permettra pas de déterminer une t_{eq} réaliste d'un corps dans son ensemble, car les conditions thermiques varient trop sur toute la surface. Plus il y a de zones sur le mannequin, plus la valeur mesurée sera correcte.

5.2.2 Calcul

Le calcul de la température équivalente du corps dans son ensemble est fondé sur la [Formule \(5\)](#) en fonction de la température cutanée du corps dans son ensemble, déterminée par la [Formule \(6\)](#), et de la déperdition de chaleur du corps dans son ensemble, déterminée par la [Formule \(7\)](#).

$$t_{eq,whole} = t_{sk,whole} - \frac{Q_{whole}}{h_{cal,whole}} \quad (5)$$

$$t_{sk,whole} = \frac{\sum (t_{sk,n} \cdot A_n)}{\sum A_n} \quad (6)$$

$$Q_{whole} = \frac{\sum (Q_n \cdot A_n)}{\sum A_n} \quad (7)$$

où

- A est une fonction de pondération basée sur l'aire de surface;
 $h_{cal,whole}$ est déterminé par étalonnage dans un environnement normalisé (voir [Annexe C](#) informative);
 n est le nombre de zones du corps ($0 < n \leq N$).

Pour pouvoir comparer les résultats obtenus d'autres mannequins, il convient que la valeur de t_{eq} mesurée soit présentée avec les spécifications du mannequin utilisé, telles que le principe de régulation, la température cutanée, le nombre de zones, etc. (voir Annexes informatives [Annexe A](#) et [Annexe B](#)).

5.3 Température équivalente segmentaire

5.3.1 Principe de détermination

Le principe de la détermination consiste à mesurer le flux total de chaleur émise d'un segment comprenant une ou plusieurs zones, chacune avec une température de surface mesurée spécifique similaire à celle d'un être humain.

La t_{eq} segmentaire est basée sur le flux de chaleur émise par une certaine partie du corps, c'est-à-dire un segment, comme la main, la tête ou la poitrine. La t_{eq} segmentaire peut seulement être mesurée à l'aide d'un capteur chauffé de forme humaine, grandeur nature, par exemple un mannequin thermique. Le nombre de zones et leur répartition doivent correspondre au moins au segment réel pour lequel il convient que la t_{eq} segmentaire soit mesurée. Certains segments, par exemple la cuisse, doivent être divisés en au moins deux zones à l'intérieur du même segment, car les conditions thermiques sont différentes sur la face avant et la face arrière (contact avec le siège) de la cuisse.

5.3.2 Calcul

Le calcul de la température équivalente segmentaire est fondé sur la [Formule \(8\)](#) en fonction de la température cutanée segmentaire, déterminée par la [Formule \(9\)](#), et de la déperdition de chaleur segmentaire, déterminée par la [Formule \(10\)](#).

$$t_{eq,segment} = t_{sk,segment} - \frac{Q_{segment}}{h_{cal,segment}} \quad (8)$$

$$t_{sk,segment} = \frac{\sum (t_{sk,n} \cdot A_n)}{\sum A_n} \quad (9)$$

$$Q_{segment} = \frac{\sum (Q_n \cdot A_n)}{\sum A_n} \quad (10)$$

où

- $h_{cal,segment}$ est déterminé par étalonnage dans un environnement normalisé (voir [Annexe C](#) informative);
 N est le nombre de zones du corps ($0 < n \leq N$).

Le segment peut être choisi librement mais il doit comprendre une ou plusieurs zones entières. Normalement, les parties du corps telles la tête, les mains, les bras, les pieds, la poitrine, le dos et le postérieur sont choisies. Pour pouvoir comparer les résultats obtenus avec d'autres mesurages, il convient que la valeur de t_{eq} mesurée soit présentée avec les spécifications sur le segment utilisé, telles que le principe de régulation,

la température de surface, la partie du corps, le nombre, la taille et la division des zones du segment (voir [Annexe A](#) et [Annexe B](#) informatives).

5.4 Température équivalente directionnelle

5.4.1 Principe de détermination

Le principe de la détermination est de mesurer le flux total de chaleur émise d'une petite surface plate avec une température de surface mesurée. La t_{eq} directionnelle peut être décrite comme un vecteur normal au plan de mesurage en chaque point, défini par l'ampleur et la direction. Elle se rapporte à l'échange de chaleur à l'intérieur de la demi-sphère à l'avant du plan infinitésimal. La t_{eq} directionnelle peut seulement être mesurée à l'aide d'un capteur plat, lequel peut être attaché à un mannequin chauffé ou autre dispositif de positionnement. Plusieurs capteurs peuvent être utilisés simultanément pour déterminer la t_{eq} directionnelle à d'autres emplacements ou dans d'autres directions, à condition qu'ils soient positionnés de manière à ne pas avoir d'incidence les uns sur les autres.

5.4.2 Calcul

Le calcul de la température équivalente directionnelle est fondé sur la [Formule \(11\)](#) en fonction du flux de chaleur émise par le capteur.

$$t_{eq,direct} = t_{sk,direct} - \frac{Q_{direct}}{h_{cal,direct}} \quad (11)$$

où

$t_{sk,direct}$ est la température de surface du capteur;
 Q_{direct} est le flux de chaleur émise par le capteur;
 $h_{cal,direct}$ est déterminé par étalonnage du capteur dans un environnement normalisé (voir [Annexe C](#) informative).

Une température équivalente locale, $t_{eq,local}$, peut être calculée sous forme d'une valeur moyenne à partir de plusieurs mesurages effectués au même emplacement mais dans différentes directions. Elle peut être calculée sous forme d'une moyenne arithmétique sans fonction de pondération, comme indiqué dans la [Formule \(12\)](#), ou avec pondération, comme indiqué dans la [Formule \(13\)](#), afin de simuler une posture particulière du corps:

$$t_{eq,local} = \frac{\sum t_{eq,direct,n}}{n} \quad (12)$$

où n est le nombre de directions:

$$t_{eq,local} = \sum (t_{eq,direct,n} \cdot A_n) \quad (13)$$

où n est le nombre de mesurages avec $\sum(A_n) = 1$ et A représente des postures corporelles.

Une température équivalente totale peut être calculée sous forme d'une moyenne pondérée de températures équivalentes locales, comme indiqué dans la [Formule \(14\)](#):

$$t_{eq,total} = \sum (t_{eq,local,n} \cdot A_n) \quad (14)$$

où n est le nombre d'emplacements avec $\sum(A_n) = 1$.

Pour pouvoir comparer les résultats obtenus avec d'autres mesurages, il convient que la valeur de t_{eq} mesurée soit présentée avec les spécifications sur le capteur utilisé, telles que le principe de régulation, la température de surface, la taille ainsi que l'emplacement et la direction du capteur (voir [Annexe A](#) et [Annexe B](#) informatives). La t_{eq} du corps dans son ensemble et la t_{eq} totale n'est pas la même. Dans un environnement thermique asymétrique et avec contact avec le siège, la différence sera considérable.