

NORME
INTERNATIONALE

ISO
9886

Première édition
1992-11-01

Évaluation de l'astreinte thermique par mesures
physiologiques

iTeh STANDARD PREVIEW
Evaluation of thermal strain by physiological measurements
(standards.iteh.ai)

ISO 9886:1992

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cc4a7e2-89ef-4720-a655-c845afc2810c/iso-9886-1992>



Numéro de référence
ISO 9886:1992(F)

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 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.

La Norme internationale ISO 9886 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 159, *Ergonomie*, sous-comité SC 5, *Ergonomie de l'environnement physique*.

Les annexes A, B, C et D de la présente Norme internationale sont données uniquement à titre d'information.

© ISO 1992

Droits de reproduction réservés. 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'éditeur.

Organisation internationale de normalisation
Case Postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

Introduction

La présente Norme internationale fait partie d'une série de normes consacrées à l'évaluation de la contrainte et de l'astreinte thermique.

Cette série de Normes internationales vise en particulier:

- a) l'établissement de spécifications relatives aux méthodes de mesurage des paramètres physiques caractérisant les ambiances thermiques;
- b) l'établissement de méthodes d'évaluation de la contrainte thermique en ambiances froides, modérées et chaudes.

Les méthodes d'analyse décrites par les autres normes de la série permettent de prévoir la réponse physiologique moyenne de sujets exposés à une ambiance thermique. Certaines de ces méthodes ne sont pas applicables lorsque les circonstances climatiques sont exceptionnelles, que les caractéristiques des sujets exposés s'écartent fortement de la moyenne ou que des moyens de protection spéciaux sont utilisés.

Dans ces cas, ou dans le cadre de recherches, il peut s'avérer utile, voire nécessaire, de recourir au mesurage direct de l'astreinte physiologique subie par le sujet.

La présente Norme internationale dresse une série de spécifications relatives aux méthodes de mesurage et d'interprétation des paramètres physiologiques reflétant la réponse de l'organisme humain placé en ambiance thermique chaude ou froide.

Page blanche

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 9886:1992

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cc4a7e2-89ef-4720-a655-c845afc2810c/iso-9886-1992>

Évaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale décrit les méthodes de mesurage et d'interprétation des grandeurs suivantes:

- la température du noyau central du corps;
- les températures de la peau;
- la fréquence cardiaque;
- la perte de poids.

Le choix des grandeurs à mesurer et des techniques à utiliser est laissé aux personnes responsables de la santé des travailleurs. Ces personnes auront à tenir compte non seulement de la nature des conditions thermiques, mais aussi du degré d'acceptation de ces techniques par les travailleurs concernés.

Il y a lieu d'insister sur le fait que des mesurages directs sur l'individu ne peuvent être réalisés qu'à deux conditions:

- lorsque la personne a été informée en détail de l'inconfort et des risques éventuels associés à la technique de mesurage et consent librement à de tels mesurages;
- lorsque les mesurages ne présentent pour la personne aucun risque qui soit inacceptable compte tenu des codes d'éthique généraux et locaux.

Afin de faciliter ce choix, l'annexe A présente une comparaison des différentes méthodes en ce qui concerne leur domaine d'application, leur complexité technique et la gêne et les risques qu'elles peuvent entraîner.

La norme définit les conditions à remplir pour assurer la fiabilité des informations recueillies à partir des différentes méthodes. Les techniques de mesu-

rage sont exposées en annexe B. Les valeurs limites sont proposées en annexe C.

La norme ne concerne pas les conditions expérimentales dans lesquelles des chercheurs peuvent être amenés à développer des méthodes alternatives destinées à affiner les connaissances. Il est cependant recommandé que, lors de ces études en laboratoire, les méthodes décrites ci-dessous soient utilisées à titre de référence, de sorte que les résultats puissent être comparés.

2 Mesurage de la température du noyau central du corps, t_{cr}

2.1 Généralités

Le terme «noyau» réfère à l'ensemble des tissus situés assez profondément pour ne pas être affectés par un gradient de température à travers les tissus superficiels. Toutefois, à l'intérieur du noyau, des différences de température sont possibles en fonction des métabolismes locaux, de la densité des réseaux vasculaires et des variations locales de débit sanguin. La température du noyau n'est donc pas une grandeur unique et mesurable en tant que telle. Cette température peut être approchée par la mesure de la température en différentes parties du corps:

- œsophage: température œsophagienne, t_{es} ;
- rectum: température rectale, t_{re} ;
- tractus gastro-intestinal: température intra-abdominale, t_{ab} ;
- bouche: température orale, t_{or} ;
- tympan: température tympanique, t_{ty} ;
- conduit auditif: température auriculaire, t_{ac} ;
- urine: température urinaire, t_{ur} .

L'ordre de présentation de ces différentes techniques a été adopté uniquement pour la simplicité de l'exposé.

En fonction de la technique adoptée, la température mesurée peut refléter

- la température moyenne du noyau, ou
- la température du sang irrigant le cerveau et dès lors influençant les centres de thermorégulation de l'hypothalamus; cette température est habituellement considérée comme décrivant l'astreinte thermique subie par le sujet.

2.2 Technique de mesurage des indicateurs de température du noyau central

2.2.1 Température œsophagienne, t_{es}

2.2.1.1 Principe de la méthode

Le capteur de température est placé dans la partie inférieure de l'œsophage qui est en contact sur 50 mm à 70 mm avec, d'une part, l'oreillette gauche à sa face antérieure et, d'autre part, l'aorte descendante à sa face postérieure. Placé à ce niveau, le capteur de température enregistre les variations de la température du sang artériel avec un temps de latence très court.

Dans sa partie supérieure, l'œsophage est appliqué contre la trachée et la mesure de température à ce niveau est influencée par la ventilation. Au contraire, si le capteur est placé trop bas, il enregistre la température gastrique.

Le capteur est également influencé par la température de la salive avalée par le sujet. La température œsophagienne est dès lors donnée non par la valeur moyenne des températures enregistrées, mais par les valeurs de pointe. Ceci est particulièrement important dans le cas d'environnements froids où la salive peut être fraîche.

2.2.1.2 Interprétation

De toutes les mesures indirectes de t_{cr} , t_{es} est celle qui reflète le mieux les variations de température du sang artériel à la sortie du cœur, et très probablement la température du sang irrigant les centres de thermorégulation dans l'hypothalamus.

2.2.2 Température rectale, t_{re}

2.2.2.1 Principe de la méthode

Le capteur de température est inséré dans le rectum; celui-ci étant entouré d'une masse importante de tissus abdominaux de faible conductibilité thermique, la température rectale est indépendante des conditions ambiantes.

2.2.2.2 Interprétation

Chez le sujet au repos, t_{re} est la plus élevée des températures corporelles. Chez le sujet au travail, au contraire, elle est directement influencée par la production de chaleur des muscles adjacents: à dépense énergétique égale par unité de temps, t_{re} est plus élevée lorsque le travail est effectué avec les jambes que lorsqu'il est réalisé exclusivement avec les bras.

t_{re} reflète essentiellement la température moyenne du noyau central du corps. Elle ne peut être considérée comme un indicateur de la température du sang et dès lors de la température des centres de thermorégulation, que pour autant que l'accumulation de chaleur soit lente et que le travail concerne le corps entier.

En cas d'accumulation lente et lorsque le travail est essentiellement effectué avec les jambes, la mesure de t_{re} conduit à une légère surévaluation de la température du sang artériel. En cas d'accumulation rapide, par contre, lors d'une contrainte thermique intense et de brève durée, t_{re} s'élève plus lentement que la température des centres de thermorégulation, poursuit son élévation au-delà du temps d'exposition pour enfin décroître progressivement. Les vitesses d'augmentation et les retards sont fonction des conditions d'exposition et de récupération. Dans ces cas, les valeurs de t_{re} sont inappropriées pour l'évaluation de l'astreinte subie par la personne.

2.2.3 Température intra-abdominale, t_{ab}

2.2.3.1 Principe de la méthode

Un capteur de température est ingéré par le sujet. Durant son transit par le tube digestif, la température mesurée va varier suivant que le capteur est localisé dans une zone proche de gros vaisseaux artériels ou d'organes ou muscles ayant un métabolisme local important ou, au contraire, près des parois abdominales.

2.2.3.2 Interprétation

Lorsque le capteur est dans l'estomac ou le duodénum, les variations de température observées sont similaires à celles de t_{es} et la différence entre ces deux températures est très faible. Au fur et à mesure que le capteur progresse dans l'intestin, les caractéristiques de la température mesurée se rapprochent de celles décrites pour t_{re} . Dès lors, l'interprétation dépend du temps écoulé depuis l'ingestion du capteur et de la vitesse du transit gastro-intestinal chez l'individu étudié.

Dans l'état actuel des connaissances, t_{ab} semble être indépendante des conditions climatiques exté-

rieures, sauf en cas d'exposition de l'abdomen à un flux intense de rayonnement.

2.2.4 Température orale, t_{or}

2.2.4.1 Principe de la méthode

Le capteur est placé sous la langue et est donc en contact avec les branches profondes de l'artère linguale. Il permet dès lors une mesure satisfaisante de la température du sang influençant les centres de thermorégulation.

La température mesurée, néanmoins, dépend des conditions extérieures. Lorsque la bouche est ouverte, les échanges thermiques par convection et évaporation à la surface des muqueuses buccales contribuent à abaisser la température de la cavité buccale. Même lorsque la bouche est fermée, la température peut être significativement abaissée en fonction d'une diminution de la température cutanée de la face, ou élevée lorsque la face est exposée à un flux intense de rayonnement thermique.

2.2.4.2 Interprétation

Lorsque les conditions de mesurage sont respectées, t_{or} est très proche de t_{es} . Chez le sujet au repos et dans des ambiances où la température de l'air est supérieure à 40 °C, t_{or} peut surestimer t_{es} de 0,25 °C à 0,4 °C. Chez le sujet au travail, la concordance entre t_{or} et t_{es} n'est établie que pour des niveaux d'efforts musculaires ne dépassant pas 35 % de la puissance aérobie maximale du sujet.

2.2.5 Température tympanique, t_{ty}

2.2.5.1 Principe de la méthode

La sonde thermique est placée aussi près que possible de la membrane tympanique dont la vascularisation provient, pour une part, de l'artère carotide interne qui irrigue également l'hypothalamus. L'inertie thermique du tympan étant faible, de par sa faible masse et son importante vascularisation, sa température suit les variations de la température du sang artériel qui influence les centres de la thermorégulation.

Cependant, la membrane tympanique étant également vascularisée par l'artère carotide externe, sa température est influencée par les échanges thermiques locaux dans le territoire vascularisé par cette artère.

2.2.5.2 Interprétation

t_{ty} présente des variations parallèles à celles de t_{es} lors des variations rapides du contenu thermique du noyau, que celles-ci soient d'origine métabolique ou dues à l'environnement. L'écart observé entre ces deux températures ou entre t_{ty} et t_{re} est toutefois in-

fluencé par les échanges de chaleur autour de l'oreille et de la surface cutanée de la tête.

2.2.6 Température du conduit auditif, t_{ac}

2.2.6.1 Principe de la méthode

La sonde est, cette fois, placée contre les parois du conduit auditif immédiatement adjacentes au tympan. Celles-ci sont vascularisées à partir de l'artère carotide externe et leur température est influencée à la fois par la température du sang artériel venant du cœur et par les variations du débit sanguin cutané au niveau de l'oreille et du cuir chevelu. Un gradient de température est par conséquent observé entre le tympan et l'orifice externe du conduit auditif. Ce gradient peut être réduit en isolant adéquatement l'oreille du climat extérieur.

2.2.6.2 Interprétation

Les règles d'interprétation sont semblables à celles présentées pour la température tympanique. La température du conduit auditif présente donc, comme t_{ty} , des variations parallèles à celles de t_{es} . Cependant, les écarts positifs observés en ambiance très chaude ou les écarts négatifs observés en ambiance froide par rapport à t_{es} sont systématiquement plus élevés que ceux observés pour t_{ty} .

Dès lors, la température du conduit auditif doit être considérée plutôt comme un indicateur des températures combinées du noyau et de la peau que comme un indicateur de la température du noyau seulement.

Ce site de mesurage de la température est accepté par certains comme un compromis indispensable entre la précision de l'évaluation et la facilité d'utilisation pour le porteur et l'observateur.

2.2.7 Température urinaire, t_{ur}

2.2.7.1 Principe de la méthode

La vessie et son contenu peuvent être considérés comme faisant partie du «noyau» du corps. Le mesurage de la température de l'urine lors de la miction paraît donc susceptible de renseigner sur le niveau de la température du noyau central du corps, t_{cr} . Le mesurage est réalisé au moyen d'un capteur de température inséré dans un dispositif collecteur. Par définition, la réalisation du mesurage est dépendante du degré de remplissage vésical.

2.2.7.2 Interprétation

La température urinaire présente des variations parallèles à celles de t_{re} mais son temps de réponse est quelque peu supérieur. En valeur absolue, la température urinaire est systématiquement inférieure de 0,2 °C à 0,5 °C à t_{re} .

3 Température de la peau, t_{sk}

3.1 Généralités

La température mesurée à la surface de la peau varie fortement sur toute la surface corporelle et ce d'autant plus que les conditions ambiantes sont froides. Pour cette raison, on distingue

- la température cutanée locale, t_{sk} , mesurée en un point précis de la surface corporelle, et
- la température cutanée moyenne, $\overline{t_{sk}}$, sur la surface entière du corps, qui est difficilement mesurable directement, mais peut être estimée en pondérant un certain nombre de températures cutanées locales en fonction des surfaces qu'elles caractérisent.

La température cutanée moyenne ne permet pas en elle-même d'évaluer l'astreinte physiologique d'origine thermique. Elle constitue par contre un critère important pour l'évaluation des conditions de confort thermique.

3.2 Principe de la méthode

Chez un sujet nu, la température en un point quelconque de la surface corporelle peut être mesurée à distance au moyen d'un capteur de rayonnement infrarouge. Cette technique donne la température moyenne sur la surface plus ou moins grande de la peau interceptée par le capteur. À défaut, la température est mesurée par contact au moyen d'un capteur de température fixé sur la peau.

3.3 Interprétation

La température de la peau est influencée par les facteurs suivants:

- a) les échanges thermiques par conduction, convection, rayonnement et évaporation à la surface de la peau;
- b) les variations de débit sanguin cutané et de température du sang artériel en ce point particulier du corps.

En ambiance sèche, la température de la peau répond, avec une constante de temps d'environ 3 min, aux variations de température d'air, de rayonnement et de vitesse d'air ambiantes.

Le nombre de points de mesurage doit être choisi en fonction du degré de précision souhaité, des conditions ambiantes, des contraintes thermiques de mesurage et de la gêne occasionnée.

Étant donné que les températures à la surface du corps sont très hétérogènes en ambiances proches de la neutralité thermique, et a fortiori en ambiances

froides, des schémas de pondération avec de nombreux points de mesurage doivent être utilisés. En ambiances très froides, le mesurage de la température d'un ou de plusieurs doigts ou d'un ou plusieurs orteils des deux côtés du corps peut être requis pour des raisons de sécurité.

En ambiances chaudes, excepté en présence d'un rayonnement élevé asymétrique, les températures locales de la peau ont tendance à être homogènes, de sorte que des schémas de pondération à peu de points de mesurage peuvent être utilisés sans risque d'erreur.

4 Évaluation de l'astreinte thermique à partir de la fréquence cardiaque, HR

4.1 Généralités

La fréquence cardiaque, HR, sur un intervalle de temps Δt (en minutes) est définie comme suit:

$$HR = n/\Delta t$$

où n est le nombre de battements cardiaques observés durant cet intervalle de temps. Elle est exprimée en battements par minute (bpm). Cette valeur est en général comptée pour des intervalles de 1 min.

À tout instant, la fréquence cardiaque, HR, peut être considérée comme étant la somme de plusieurs composantes qui ne sont pas indépendantes les unes des autres:

$$HR = HR_0 + \Delta HR_M + \Delta HR_S + \Delta HR_T + \Delta HR_N + \Delta HR_E$$

où

HR_0 est la fréquence cardiaque observée en moyenne au repos assis en conditions neutres, c'est-à-dire pour un niveau métabolique égal à 58 W/m^2 ;

ΔHR_M est l'élévation de fréquence cardiaque liée au métabolisme du travail;

ΔHR_S est l'élévation liée aux efforts statiques développés;

ΔHR_T est la composante liée à l'astreinte thermique subie par le sujet;

ΔHR_N est la composante nerveuse souvent observée chez le sujet au repos et qui tend à disparaître à l'effort;

ΔHR_E est la composante résiduelle liée au rythme respiratoire, cycle nyctéméral, etc. La composante respiratoire disparaît en grande partie lorsque le calcul de HR est réalisé sur un intervalle de temps de

30 s ou plus, tandis que la composante circadienne peut être ici négligée.

Dans le contexte de la présente Norme internationale, seule la composante ΔHR_T est considérée.

4.2 Principe de mesure

En situation de travail réelle, la composante ΔHR_T ne peut être évaluée qu'à condition qu'ait été mesurée la fréquence cardiaque de repos HR_0 et que puissent être négligées les autres composantes.

Lors de l'arrêt du travail musculaire, la fréquence cardiaque commence à diminuer rapidement. Après quelques minutes, les composantes ΔHR_M et ΔHR_S dues au travail auront pratiquement disparu, de sorte que seule subsiste l'élévation d'origine thermique. La courbe de décroissance de HR en fonction du temps présente donc une discontinuité après un certain temps de récupération et la composante liée à l'astreinte thermique à la fin de la période de travail peut être estimée par:

$$\Delta HR_T = HR_r - HR_0$$

où

HR_r est la fréquence relevée au moment de la discontinuité de vitesse de décroissance de HR;

HR_0 est la fréquence cardiaque de repos en ambiance thermiquement neutre.

Le temps de récupération jusqu'à la discontinuité est en moyenne de 4 min: il peut être plus long si le métabolisme de travail était très élevé. Aussi est-il nécessaire de mesurer la fréquence cardiaque soit par intervalle de 30 s, soit de manière continue au cours des premières minutes de récupération et d'observer directement le point de discontinuité de la décélération cardiaque.

4.3 Interprétation

L'élévation de la fréquence cardiaque d'origine thermique, ΔHR_T , est très fortement corrélée à l'élévation de t_{cr} . L'élévation de HR par élévation de 1 °C de t_{cr} est appelée réactivité cardiaque thermique et est exprimée en battements cardiaques par minute et par degré Celsius (bpm/°C). Les variations interindividuelles de la réactivité thermique peuvent être considérables. De plus, pour un même sujet, elle varie selon le type d'effort fourni (et donc le groupe musculaire concerné) et selon que la contrainte thermique est essentiellement exogène (due au climat) ou endogène (due au métabolisme). Son interprétation doit tenir compte de ces facteurs.

5 Évaluation de l'astreinte physiologique à partir de la variation de masse corporelle, Δm , due à la sudation

5.1 Principe de mesure

La variation brute de masse corporelle d'une personne au cours d'un intervalle de temps donné est la différence entre les masses corporelles mesurées en début et en fin de cet intervalle.

La variation brute de masse corporelle, Δm_g , est la somme de plusieurs composantes:

$$\Delta m_g = \Delta m_{sw} + \Delta m_{res} + \Delta m_0 + \Delta m_{wat} + \Delta m_{sol} + \Delta m_{clo}$$

où

Δm_{sw} est la variation de masse due à la perte sudorale durant l'intervalle de temps donné;

Δm_{res} est la variation de masse due à l'évaporation dans les voies respiratoires;

Δm_0 est la variation due aux différences de masse entre le dioxyde de carbone expiré et l'oxygène inspiré;

Δm_{wat} est la variation de masse corporelle due à la prise d'eau ou au rejet (urine);

Δm_{sol} est la variation de masse corporelle due à la prise (nourriture) et au rejet (selles) de solides;

Δm_{clo} est la variation de masse de vêtement due à une variation de ce vêtement ou à l'accumulation de sueur.

Dans le contexte de la présente Norme internationale, la perte par transpiration, Δm_{sw} , et le bilan net en eau du corps sont considérés.

5.2 Interprétation

Dans un environnement chaud, la perte par transpiration peut être considérée comme étant un indice de l'astreinte physiologique d'origine thermique incluant non seulement la transpiration qui s'évapore à la surface de la peau mais également la fraction s'écoulant de la surface du corps ou s'accumulant dans le vêtement. Le bilan net en eau ($\Delta m_{sw} + \Delta m_{res} + \Delta m_{wat}$) est à considérer en rapport avec le risque de déshydratation du corps. La prise régulière de petites quantités d'eau durant toute la période d'exposition permet d'équilibrer environ 75 % de la perte en eau corporelle: ceci peut être supposé le cas pour le sujet acclimaté. Dans le cas de sujet non acclimaté, au contraire, la périodicité, le volume et la qualité de la prise en eau pourraient

ne pas être adéquats et il est conseillé de considérer que la perte en eau ne sera pas compensée du tout.

Dans les conditions confortables ou plus froides, la perte sudorale et le bilan thermique en eau du corps

sont réduits et ont peu d'intérêt. Δm_{sw} peut cependant être comparé aux valeurs prédites en fonction du métabolisme pour estimer le degré de confort de la situation de travail.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 9886:1992

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/cc4a7e2-89ef-4720-a655-c845afc2810c/iso-9886-1992>

Annexe A (informative)

Comparaison des méthodes physiologiques d'appréciation de l'astreinte thermique

Le tableau A.1 décrit les exigences techniques des différentes méthodes de mesure de l'astreinte thermique. Les critères de comparaison sont les suivants:

- 1) Complexité de l'appareillage
 - 0: simple
 - 1: devant répondre à certaines exigences
 - 2: complexe
- 2) Exigences techniques lors du mesurage
 - 0: technique simple
 - 1: requiert un personnel compétent
 - 2: requiert une surveillance médicale
- 3) Continuité du mesurage
 - C: mesurage continu ou discontinu
 - D: mesurage discontinu
- 4) Interférence avec le travail
 - 0: limitée au temps de mesurage
 - 1: interférence modérée avec le travail
 - 2: interférence importante avec le processus normal de travail
- 5) Gêne physique pour la personne
 - 0: gêne très légère et limitée aux périodes de mesurage
 - 1: gêne réduite sauf si technique non optimale
 - 2: gêne d'origine psychologique sans gêne physique
 - 3: gêne physique modérée

- 6) Risques pour la santé de la personne
 - 0: aucun risque
 - 1: risque potentiel si technique non optimale
 - 2: risque potentiel si anomalie anatomique du porteur
- 7) Coût
 - 0: très faible
 - 1: modéré
 - 2: moyen à élevé suivant le système utilisé
 - 3: élevé

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 9886:1992

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/845af2810c-iso-9886-1992>

Le tableau A.2 compare les différentes méthodes en ce qui concerne leur pertinence et leur difficulté d'interprétation pour l'appréciation de l'astreinte thermique:

- 1) Pertinence du mesurage dans les trois domaines: ambiances froides, modérées et chaudes
 - : non pertinente
 - +: pertinente
- 2) Exigences concernant l'interprétation des données
 - 0: interprétation directe
 - 1: interprétation requérant des connaissances élémentaires
 - 2: interprétation requérant des compétences particulières