

---

Norme internationale



7726

---

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

---

**Ambiances thermiques — Appareils et méthodes de mesure des grandeurs physiques**

*Thermal environments — Instruments and methods for measuring physical quantities*

Première édition — 1985-07-01

---

CDU 331.043.6 : 53.08

Réf. n° : ISO 7726-1985 (F)

**Descripteurs** : ergonomie, milieu, confort thermique, analyse quantitative, propriété physique, mesurage de température, instrument de mesure de température, grandeur, règle de calcul.

Prix basé sur 39 pages

## 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 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.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO. Les Normes internationales sont approuvées conformément aux procédures de l'ISO qui requièrent l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 7726 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 159, *Ergonomie*.

## Sommaire

	Page
<b>0</b> Introduction .....	1
<b>1</b> Objet et domaine d'application .....	1
<b>2</b> Référence .....	1
<b>3</b> Généralités .....	1
<b>3.1</b> Norme confort et norme contrainte .....	1
<b>3.2</b> Grandeurs physiques caractéristiques de l'environnement .....	2
<b>4</b> Spécifications relatives aux appareils de mesure .....	2
<b>4.1</b> Grandeurs mesurées .....	2
<b>4.2</b> Caractéristiques des appareils de mesure .....	4
<b>5</b> Spécifications relatives aux méthodes de mesure .....	5
<b>5.1</b> Spécifications relatives aux variations des grandeurs physiques dans l'espace entourant le sujet .....	5
<b>5.2</b> Spécifications relatives aux variations des grandeurs physiques dans le temps .....	5
<b>Annexes</b>	
<b>A</b> Mesure de la température de l'air .....	9
<b>B</b> Mesure de la température moyenne de rayonnement .....	11
<b>C</b> Mesure de l'asymétrie de température de rayonnement .....	22
<b>D</b> Mesure de l'humidité absolue de l'air .....	28
<b>E</b> Mesure de la vitesse de l'air .....	36

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

ISO 7726:1985

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/27533a9a-aa57-4f8a-ac29-b41e241f52ef/iso-7726-1985>

# Ambiances thermiques — Appareils et méthodes de mesure des grandeurs physiques

## 0 Introduction

Le présent document constitue l'une des Normes internationales d'une série consacrée à l'étude des ambiances thermiques.

Cette série de Normes internationales vise en particulier

- la mise au point des définitions des termes à utiliser dans les méthodes de mesure, d'essais et d'interprétation, en tenant compte des normes existantes ou en cours d'élaboration;
- l'établissement de spécifications relatives aux méthodes de mesure des grandeurs physiques caractérisant les ambiances thermiques;
- la sélection d'une ou plusieurs méthodes d'interprétation des paramètres;
- l'établissement de valeurs recommandées ou limites d'exposition aux ambiances thermiques dans le domaine du confort et des ambiances extrêmes (chaudes et froides);
- l'établissement de spécifications relatives aux méthodes de mesure de l'efficacité de dispositifs ou procédés de protection individuels ou collectifs contre la chaleur ou le froid.

Compte tenu de l'intérêt croissant porté aux problèmes posés par l'exposition de l'homme aux ambiances thermiques et de l'existence de peu de documents ou normes nationales dans ce domaine, il a paru souhaitable de diffuser la présente Norme internationale sans attendre la rédaction complète de la série.

Les annexes contenues dans la présente Norme internationale sont données à titre d'information et n'en font pas partie intégrante.

Tout appareil de mesure permettant d'obtenir ou mieux d'améliorer les précisions indiquées dans la présente Norme internationale peut être utilisé.

La description ou l'énumération de certains appareils dans ces annexes ne saurait signifier qu'ils sont « recommandés » attendu que les caractéristiques de ces appareils peuvent varier selon le principe de mesure, leur construction et la façon dont ils sont utilisés. Il appartient aux utilisateurs de comparer les qualités des appareils disponibles sur le marché à un moment donné et de contrôler leur conformité aux spécifications contenues dans la présente Norme internationale.

1) De l'anglais « stress » = contrainte.

## 1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les caractéristiques minimales des appareils de mesure des grandeurs physiques d'une ambiance, ainsi que les méthodes de mesure des grandeurs physiques de cette ambiance.

Elle n'a pas pour but de définir un indice global de confort ou de contrainte thermique mais simplement de normaliser la prise des informations devant conduire à cet indice. D'autres Normes internationales préciseront (ou précisent) les méthodes permettant d'exploiter les informations recueillies en se basant sur le présent document.

La présente Norme internationale pourra servir de référence pour la constitution

- a) d'un cahier des charges pour les constructeurs et les utilisateurs d'appareils de mesure des grandeurs physiques de l'environnement;
- b) d'un document contractuel entre deux parties pour la mesure de ces grandeurs.

Elle s'applique à l'étude des ambiances chaudes, confortables ou froides en tout endroit occupé par l'homme.

## 2 Référence

ISO 7243, *Ambiances chaudes — Estimation de la contrainte thermique de l'homme au travail, basée sur l'indice WBGT (température humide et de globe noir)*.

## 3 Généralités

### 3.1 Norme confort et norme contrainte

Les spécifications et méthodes contenues dans la présente Norme internationale ont été regroupées en deux classes en fonction de l'importance de la nuisance thermique à évaluer.

Les spécifications et méthodes du type C se rapportent à des mesures réalisées dans des ambiances modérées proches du confort (norme confort).

Les spécifications et méthodes du type S<sup>1)</sup> se rapportent à des mesures réalisées dans des ambiances thermiquement plus contraignantes, voire des ambiances de contrainte thermique extrême (norme contrainte).

Les spécifications et méthodes décrites pour chacune de ces classes ont été déterminées compte tenu des possibilités pratiques de mesures *in situ* et des performances actuelles possibles des appareils de mesure.

### 3.2 Grandeurs physiques caractéristiques de l'environnement

La détermination d'indices globaux de confort ou de contrainte thermique nécessite la connaissance de grandeurs physiques liées à l'environnement. Ces grandeurs peuvent être regroupées en deux catégories selon leur degré de dépendance avec l'environnement.

#### 3.2.1 Grandeurs physiques fondamentales

Les paramètres physiques fondamentales caractérisent chacune un des facteurs de l'environnement indépendamment des autres. Elles sont souvent utilisées pour définir des indices de confort ou de contrainte thermique basés sur l'établissement rationnel du bilan thermique de l'homme placé dans une ambiance thermique donnée. Ces grandeurs sont les suivantes :

- a) température de l'air, exprimée en kelvins ( $T_a$ ) ou en degré Celsius ( $t_a$ );
- b) température moyenne de rayonnement, exprimée en kelvins ( $\bar{T}_r$ ) ou en degrés Celsius ( $\bar{t}_r$ ) et asymétrie de température de rayonnement, exprimée en kelvins ou en degrés Celsius ( $\Delta t_{pr}$ );
- c) humidité absolue de l'air ( $p_a$ ), exprimée en kilopascals; l'humidité absolue peut être mesurée par différents moyens (voir annexe D). L'un de ces moyens consiste à mesurer simultanément la température psychrométrique et la température de l'air;
- d) vitesse de l'air ( $v_a$ ), exprimée en mètres par seconde.

Les liaisons entre ces quatre grandeurs et les différents apports et pertes de chaleur à l'organisme sont représentées sur le tableau 1. Ce tableau indique également quatre autres grandeurs qui, étant plus souvent estimées à partir de tables de données que mesurées, ne sont pas introduites dans la suite de cette Norme internationale.

NOTE — Le concept de température moyenne de rayonnement permet de simplifier l'étude des phénomènes d'échanges radiatifs entre l'environnement et l'homme. Il présuppose l'identité des effets sur l'homme de l'environnement réel généralement hétérogène et de l'environnement virtuel défini comme homogène. Lorsque cette hypothèse n'est pas vérifiée, en particulier dans le cas de rayonnements asymétriques, les échanges radiatifs provenant de régions thermiquement différentes et l'importance de leurs effets sur l'homme doivent être de plus évalués à l'aide du concept d'asymétrie de température de rayonnement.

#### 3.2.2 Grandeurs physiques dérivées

Les grandeurs physiques dérivées caractérisent un ensemble de facteurs de l'environnement pondérés en fonction des caractéristiques des capteurs utilisés. Elles sont souvent utilisées pour définir directement un indice empirique de confort ou de contrainte thermique sans passer par une méthode rationnelle

d'établissement du bilan thermique de l'homme placé dans une ambiance thermique donnée. Les grandeurs dérivées les plus utilisées sont les suivantes :

- a) température humide naturelle ( $t_{nw}$ ) qui est fonction de la température, de la vitesse et de l'humidité de l'air ainsi que de la température moyenne de rayonnement. Cette grandeur ne doit pas être confondue avec la température humide psychrométrique ( $t_w$ ) utilisée pour les calculs d'humidité;
- b) température de globe noir ( $t_g$ ) qui est fonction de la température moyenne de rayonnement, de la température et de la vitesse de l'air. Cette grandeur peut être utilisée en tant que telle pour définir un indice empirique de contrainte thermique ou comme grandeur intermédiaire pour le calcul de la température moyenne de rayonnement;
- c) température humide et de globe noir *WBGT* qui est fonction de la température, de la vitesse et de l'humidité de l'air ainsi que de la température moyenne de rayonnement. Elle est déterminée à partir de la mesure de la température humide naturelle ( $t_{nw}$ ), de la température de globe noir ( $t_g$ ) et, sous charge thermique solaire, de la température d'air. Les coefficients de pondération entre ces grandeurs sont précisés dans l'ISO 7243;
- d) température de globe noir humide ( $t_{wg}$ ) qui est fonction des mêmes grandeurs que la température humide naturelle mais pondérées différemment. Cette grandeur ne doit pas être confondue avec l'indice de contrainte thermique *WBGT*.

Toutes choses égales par ailleurs, les valeurs prises par les grandeurs dérivées n'ont de sens que pour des capteurs de forme et de dimensions spécifiées.

## 4 Spécifications relatives aux appareils de mesure

### 4.1 Grandeurs mesurées

#### 4.1.1 Grandeurs fondamentales

4.1.1.1 La température d'air est la température de l'air autour du corps humain. (Voir annexe A.)

4.1.1.2 La température moyenne de rayonnement est la température des parois d'une enceinte virtuelle pour laquelle la température des parois serait uniforme et les échanges par rayonnement entre cette enceinte et l'homme seraient égaux aux échanges par rayonnement dans l'enceinte réelle.

La température moyenne de rayonnement peut être mesurée par l'intermédiaire de dispositifs permettant « d'intégrer » en une valeur moyenne le rayonnement généralement hétérogène issu des parois d'une enceinte réelle. (Voir annexe B.)

Le globe noir est un appareil de mesure fréquemment utilisé.

Tableau 1 — Principales grandeurs indépendantes intervenant dans l'analyse d'une ambiance thermique

Éléments du bilan thermique	Grandeurs							
	$t_a$	$\bar{t}_r$	$v_a$	$p_a$	$I_{cl}$	$R_{cl}$	$M$	$W$
	Température de l'air	Température moyenne de rayonnement	Vitesse de l'air	Humidité absolue de l'air (pression partielle de vapeur d'eau)	Isolement vestimentaire	Résistance évaporatoire du vêtement	Métabolisme	Travail extérieur utile
Production de chaleur interne, $M - W$							x	x
Échanges de chaleur par rayonnement, $R$		x			x			
Échanges de chaleur par convection, $C^*$	x		x		x			
Pertes de chaleur par évaporation :								
— évaporation cutanée, $E$			x	x	x	x		
— évaporation respiratoire, $E_{res}$				x			x	

\* Les échanges de chaleur par convection sont également influencés par les mouvements de la personne. La vitesse de l'air résultante au niveau de la peau est appelée vitesse de l'air relative ( $v_{ar}$ ).

Il permet la détermination approchée de la température moyenne de rayonnement à partir de la connaissance de la température de globe noir et de la température et de la vitesse de l'air autour du globe noir.

La précision de mesure de la température moyenne de rayonnement obtenue avec cet appareil varie dans d'importantes proportions selon le type d'environnement considéré et la précision de mesure des températures de globe, d'air et de la vitesse de l'air. La précision réelle de mesure doit être indiquée chaque fois que celle-ci dépasse les tolérances spécifiées par la présente Norme internationale.

La température moyenne de rayonnement est définie en relation avec le corps humain. La forme sphérique du thermomètre à globe peut donner une approximation raisonnable de la forme du corps pour des personnes sédentaires. Un capteur ellipsoïdal approche mieux la forme humaine à la fois pour des personnes en position debout et des personnes sédentaires.

La température moyenne de rayonnement peut également être calculée à partir de la connaissance des températures des parois environnantes et de la forme de ces parois et de leur position par rapport à l'homme (calcul des facteurs de forme géométriques). (Voir annexe B.)

Tout autre dispositif de mesure ou méthode de calcul permettant de déterminer la température moyenne de rayonnement avec la précision spécifiée dans les paragraphes ci-dessous peut être utilisé(e).

**4.1.1.3** L'asymétrie de température de rayonnement est la différence entre la température plane de rayonnement des deux faces opposées d'un petit élément plan (voir la définition de la température plane de rayonnement ci-dessous).

Le concept d'asymétrie de température de rayonnement est utilisé lorsque la température moyenne de rayonnement ne décrit pas complètement l'environnement radiatif, par exemple lorsque le rayonnement est issu de parties opposées de l'espace présentant des hétérogénéités thermiques sensibles.

Le champ rayonnant asymétrique est défini par rapport à la position de l'élément plan servant de référence. En tout état de cause, il convient de préciser exactement la position de celui-ci par la direction de la normale à cet élément.

L'asymétrie de température de rayonnement est mesurée ou calculée à partir de la connaissance de la température plane de rayonnement dans deux directions opposées.

La température plane de rayonnement ( $T_{pr}$  ou  $t_{pr}$ ) est la température uniforme d'une enceinte pour laquelle l'irradiance sur un côté d'un petit élément plan est la même que dans l'environnement réel non uniforme. La température plane de rayonnement est une grandeur qui décrit le rayonnement dans une direction.

Le radiomètre dit « net » est un appareil souvent utilisé pour mesurer cette grandeur (voir annexe C). Il est alors possible de déterminer la température plane de rayonnement à partir du rayonnement net échangé entre l'environnement et l'élément de surface et de la température de surface du radiomètre.

Un radiomètre utilisant un capteur constitué d'un disque réfléchissant (doré) et d'un disque absorbant (peint en noir) peut également être utilisé.

La température plane de rayonnement peut aussi être calculée à partir des températures de surface de l'environnement et des facteurs de forme entre les surfaces et l'élément plan. (Voir annexe C.)

Tout autre dispositif ou méthode permettant la mesure ou le calcul de l'asymétrie de température de rayonnement ou de la température plane de rayonnement avec la même précision que celle spécifiée ci-après, peut être utilisé(e).

**4.1.1.4** L'humidité absolue de l'air caractérise toute grandeur liée à la quantité réelle de vapeur d'eau contenue dans l'air par opposition à des grandeurs telles que l'humidité relative ou le degré de saturation qui donnent la quantité de vapeur d'eau dans l'air par rapport à la quantité maximale qu'il peut contenir à une température donnée.

Sur le plan des échanges évaporatoires entre l'homme et son environnement, c'est l'humidité absolue de l'air qui est à prendre en considération. Celle-ci est souvent exprimée sous forme de pression partielle de vapeur d'eau.

La pression partielle de vapeur d'eau d'un mélange d'air humide est la pression qu'exercerait la vapeur d'eau contenue dans ce mélange si elle occupait seule le volume qu'occupe l'air humide à la même température.

L'humidité absolue peut être déterminée directement (appareils à condensation, appareils électrolytiques) ou indirectement par la mesure simultanée de plusieurs grandeurs (humidité relative et température d'air; température humide psychrométrique et température d'air etc.) (voir annexe D).

Le psychromètre est un appareil de mesure de l'humidité fréquemment utilisé. Il permet la détermination de l'humidité absolue de l'air à partir de la connaissance de la température sèche de l'air ( $t_a$ ) et de la température humide psychrométrique ( $t_{wh}$ ). La précision de mesure n'est conforme aux spécifications incluses dans la présente Norme internationale que si l'appareil est bien conçu et les précautions d'emploi attentivement suivies.

Tout dispositif permettant de mesurer l'humidité absolue de l'air avec la précision indiquée dans les paragraphes ci-dessous peut être utilisé.

**4.1.1.5** La vitesse de l'air est une grandeur définie par son intensité et sa direction. La grandeur à considérer dans le domaine des ambiances thermiques est la vitesse efficace de l'air c'est-à-dire l'intensité du vecteur vitesse caractéristique de l'écoulement au point de mesure considéré (voir annexe E).

D'une façon générale, la vitesse de l'air peut être déterminée

- soit par l'utilisation d'une sonde omnidirectionnelle directement sensible à l'intensité de la vitesse quelle que soit sa direction (boule chaude);
- soit par l'utilisation de trois capteurs directionnels permettant de mesurer les composantes de la vitesse de l'air selon trois axes perpendiculaires. Si l'on appelle  $v_x, v_y, v_z$  ces trois composantes, la vitesse efficace de l'air s'écrit alors :

$$v_a = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

Dans les cas particuliers où l'écoulement de l'air est unidirectionnel, il est possible d'utiliser une sonde sensible à cette seule direction de l'air (anémomètres à palettes, fils chauds, etc.).

La direction principale de l'écoulement peut être trouvée en pratiquant des tests d'émission de fumées.

La vitesse de l'air étant habituellement une grandeur très fluctuante, il est recommandé d'enregistrer ses fluctuations dans les zones de froid et de confort. Il est suggéré que ces fluctuations soient exprimées sous forme de moyenne et d'écart-type. En ambiance chaude, il est suffisant de mesurer une valeur moyenne.

#### 4.1.2 Grandeurs dérivées

**4.1.2.1** La température humide naturelle est la grandeur indiquée par un capteur de température recouvert d'une mèche humide ventilée naturellement c'est-à-dire placée dans l'environnement considéré sans ventilation forcée.

En l'absence d'informations complémentaires, les dimensions et la forme du capteur de température sont réputées être comme suit :

- a) Forme de la partie sensible du capteur : cylindrique.
- b) Diamètre extérieur de la partie sensible du capteur :  $6 \pm 1$  mm
- c) Longueur minimale du support du capteur : 3 cm (recouvert de la mèche humide).

**4.1.2.2** La température de globe noir est la température interne d'un globe noir ventilé naturellement dont les caractéristiques sont les suivantes :

- a) Émissivité spectrale :  $\varepsilon = 0,95 \pm 0,05$
- b) Diamètre : 0,15 m

**4.1.2.3** La température humide et de globe noir *WBGT* est calculée à partir des relations suivantes :

- En ambiance intérieure (ou extérieure sans charge thermique solaire)

$$WBGT = 0,7 t_{nw} + 0,3 t_g$$

- En ambiance extérieure (sous charge thermique solaire)

$$WBGT = 0,7 t_{nw} + 0,2 t_g + 0,1 t_a$$

Les caractéristiques des capteurs de mesure de  $t_{nw}$  et  $t_g$  sont celles définies ci-dessus.

**4.1.2.4** La température de globe noir humide est la température interne d'un globe recouvert d'un tissu noir, humide et ventilé naturellement.

En l'absence d'informations complémentaires, le diamètre du globe est réputé être de 6 cm.

## 4.2 Caractéristiques des appareils de mesure

### 4.2.1 Caractéristiques des appareils de mesure des grandeurs fondamentales et dérivées

Les gammes de mesures, précisions des mesures et temps de réponse des capteurs pour chacune des grandeurs fondamentales et dérivées sont résumés dans le tableau 2. Ces caractéristiques doivent être considérées comme des caractéristiques minimales. En fonction des besoins et des possibilités techniques de réalisation, il est toujours possible de spécifier des caractéristiques plus sévères. Ainsi pour certaines grandeurs, des mesures très précises de contrainte thermique pourront nécessiter d'utiliser des appareils ayant les gammes de mesures de la classe S et les précisions de la classe C.

Pour les besoins de la présente Norme internationale, la constante de temps d'un capteur est considérée comme numériquement égale au temps mis par le capteur, en réponse à une variation en forme d'échelon de la grandeur mesurée, pour atteindre 62 % de sa variation finale en état stationnaire sans dépassement. Le temps de réponse, qui est pratiquement le temps au bout duquel on peut considérer la grandeur mesurée (par exemple : température du thermomètre) comme suffisamment proche de la valeur exacte de la grandeur à mesurer (par exemple : température de l'air), peut être calculé à partir de la constante de temps  $\tau$ . Un temps de réponse à 90 % est atteint au bout d'un temps égal à 3,1 fois la constante de temps.



La constante de temps et donc le temps de réponse d'un capteur ne dépendent pas seulement du capteur (masse, surface, présence d'une gaine protectrice) mais également de l'environnement, donc de facteurs liés à une mesure donnée (vitesse de l'air, rayonnement, etc.), il convient d'indiquer les conditions dans lesquelles ces valeurs sont obtenues. Les conditions d'environnement standard sont précisées dans le tableau 3 (classes C et S). Elles devront servir de référence excepté en cas de contradiction avec le principe de mesure de la grandeur considérée. Par ailleurs, les précisions sur la mesure des températures d'air, température moyenne de rayonnement, asymétrie de température de rayonnement, vitesse de l'air et humidité dépendent également de l'influence des autres grandeurs. À cet effet, les précisions spécifiées dans le tableau 2 devront être obtenues pour les conditions environnementales précisées entre parenthèses dans ce tableau.

#### 4.2.2 Caractéristiques des appareils de mesure du type intégrant

Tout appareil de mesure intégrant la mesure de plusieurs variables doit posséder un intervalle de mesure, un temps de réponse et une précision égaux ou supérieurs à ceux des variables correspondantes.

### 5 Spécifications relatives aux méthodes de mesure

Les méthodes de mesure des grandeurs physiques de l'environnement doivent tenir compte du fait que ces grandeurs varient dans l'espace et dans le temps.

#### 5.1 Spécifications relatives aux variations des grandeurs physiques dans l'espace entourant le sujet

Une ambiance peut être considérée comme « homogène » sur le plan bioclimatique si, à un instant donné, la température de l'air, le rayonnement, la vitesse de l'air et l'humidité peuvent être considérés comme pratiquement uniformes autour du sujet, c'est-à-dire, par exemple, lorsque les écarts entre chacune de ces grandeurs et leur valeur moyenne spatiale calculée comme indiqué ci-dessous n'excède pas environ  $\pm 5\%$ . Cette condition est assez souvent satisfaite pour la température de l'air, la vitesse de l'air et l'humidité, mais plus rarement pour le rayonnement.

Lorsque l'hétérogénéité de l'ambiance est trop importante, il convient de mesurer les grandeurs physiques en plusieurs points à la place ou autour du sujet et de tenir compte des résultats partiels obtenus pour déterminer la valeur moyenne des grandeurs à considérer pour l'estimation du confort ou de la contrainte thermique. Des analyses antérieures de la contrainte thermique aux postes étudiés ou à des postes d'un type voisin, peuvent fournir des informations intéressantes pour déterminer si certaines grandeurs sont distribuées d'une façon homogène. Dans les locaux aux postes de travail peu ou mal définis, il est courant de ne considérer qu'une zone d'occupation limitée où les critères de confort ou de contrainte thermique doivent être

respectés. En cas de contestation des données, les mesures faites en considérant l'ambiance hétérogène doivent servir de référence.

Le tableau 4 indique les emplacements de mesures des grandeurs fondamentales à retenir et les coefficients de pondération à utiliser pour le calcul des valeurs moyennes des grandeurs selon le type d'ambiance considérée et la classe des spécifications de mesures.

Les emplacements de mesure des grandeurs dérivées seront de préférence choisis conformément aux indications fournies par ce tableau. En tout état de cause, se reporter aux normes qui définissent les indices de contrainte ou de confort thermique et qui prévalent sur cette norme générale.

Les différents capteurs doivent être placés à l'endroit où l'homme effectue normalement son activité aux hauteurs indiquées dans le tableau 4. Dans le cas où il est impossible d'arrêter l'activité en cours, il convient de placer les capteurs à des endroits tels que les échanges thermiques soient approximativement identiques à ceux auxquels l'homme est soumis (cette particularité de mesure doit être mentionnée dans les résultats).

#### 5.2 Spécifications relatives aux variations des grandeurs physiques dans le temps

Les grandeurs physiques dans l'espace entourant l'homme peuvent se modifier en fonction du temps essentiellement pour deux raisons :

- a) pour une activité donnée, les grandeurs peuvent varier en fonction d'événements extérieurs tels que ceux accompagnant un processus de fabrication dans le cas d'une activité industrielle;
- b) les grandeurs peuvent également varier par suite des déplacements de l'homme dans différentes ambiances (par exemple : ambiance chaude près d'une machine et ambiance confortable de repos).

Une ambiance est dite « stationnaire » par rapport au sujet lorsque les grandeurs physiques utiles pour décrire le niveau d'exposition à la chaleur de celui-ci sont pratiquement indépendantes du temps, c'est-à-dire, par exemple, lorsque les fluctuations de ces grandeurs par rapport à leur valeur moyenne temporelle n'excèdent pas environ  $\pm 5\%$ .

À noter que les autres grandeurs servant à décrire le niveau d'exposition à la chaleur (métabolisme, rendement énergétique, isolement vestimentaire) peuvent également dépendre du temps.

Dans la mesure où une ambiance ne peut être considérée comme stationnaire par rapport au sujet, il convient de noter les principales variations de ses grandeurs physiques en fonction du temps. Les informations seront utilisées dans les autres normes de cette série pour déterminer un indice global de confort ou de contrainte thermique.

Tableau 2 — Caractéristiques des appareils de mesure

Grandeur	Symbole	Classe C (confort)			Classe S (contrainte thermique)			Observations
		Gamme de mesure	Précision	Temps de réponse (à 90 %)	Gamme de mesure	Précision	Temps de réponse	
Température de l'air	$t_a$	10 à 30 °C	Spécifiée : $\pm 0,5$ °C Souhaitable : $\pm 0,2$ °C Ces précisions doivent être garanties au moins pour un écart $ t_r - t_a $ égal à 10 °C.	Le plus faible possible. Valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure.	-40 à +120 °C	Spécifiée : -40 à 0 °C : $\pm (0,5 + 0,01  t_a )$ °C > 0 à 50 °C : $\pm 0,5$ °C > 50 à 120 °C : $\pm [0,5 + 0,04 (t_a - 50)]$ °C Souhaitable : $\frac{2}{2}$ Ces précisions doivent être garanties au moins pour un écart $ t_r - t_a $ égal à 20 °C.	Le plus faible possible. Valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure.	Le capteur de température d'air doit être protégé efficacement contre l'influence éventuelle du rayonnement thermique issu de parois chaudes ou froides. Une indication de la valeur moyenne sur une période d'une minute est de plus souhaitable.
		10 à 40 °C	Spécifiée : $\pm 2$ °C Souhaitable : $\pm 0,2$ °C Ces précisions sont difficiles, voire impossibles à obtenir dans certains cas avec des matériaux courants. Lorsqu'elles ne peuvent être obtenues, indiquer la précision réelle de mesure.	Le plus faible possible. Valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure.	-40 °C à +150 °C	Spécifiée : -40 à 0 °C : $\pm (5 + 0,02  t_r )$ °C > 0 à 50 °C : $\pm 5$ °C > 50 à 150 °C : $\pm [5 + 0,08 (t_r - 50)]$ °C Souhaitable : -40 à 0 °C : $\pm (0,5 + 0,01  t_r )$ °C > 0 à 50 °C : $\pm 0,5$ °C > 50 à 150 °C : $\pm [0,5 + 0,04 (t_r - 50)]$ °C	Le plus faible possible. Valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure.	
Asymétrie de température de rayonnement	$\Delta t_{pr}$	0 à 20 K	Spécifiée : $\pm 1$ K Souhaitable : $\pm 0,5$ K	Le plus faible possible. Valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure.	0 à 200 K	Spécifiée : 0 à 20 K : $\pm 2$ K > 20 à 200 K : $\pm 0,1 \Delta t_{pr}$ Souhaitable : 0 à 20 K : $\pm 1$ K > 20 à 200 K : $\pm 0,05 \Delta t_{pr}$	Le plus faible possible. Valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure.	Sauf le cas d'un courant d'air unidirectionnel, le capteur de vitesse d'air doit mesurer la vitesse efficace quelle que soit la direction de l'air. Une indication de la valeur moyenne sur une période de 3 min est de plus souhaitable. Le degré de turbulence est un paramètre important pour l'étude des problèmes de confort. Il est recommandé qu'il soit exprimé sous forme d'écart-type de la vitesse. En ambiance froide, il est recommandé d'utiliser des appareils de classe C quel que soit le type d'analyse effectué (confort ou contrainte thermique extrême).
Vitesse de l'air	$v_a$	0,05 à 1 m/s	Spécifiée : $\pm 10,05 + 0,05 v_a$   m/s Souhaitable : $\pm 10,02 + 0,07 v_a$   m/s Ces précisions doivent être garanties quelle que soit la direction de l'écoulement dans un angle solide $\omega = 3 \pi$ sr	Spécifiée : 1 s Souhaitable : 0,5 s	0,2 à 10 m/s	Spécifiée : $\pm 10,1 + 0,05 v_a$   m/s Souhaitable : $\pm 10,05 + 0,05 v_a$   m/s Ces précisions doivent être garanties quelle que soit la direction de l'écoulement dans un angle solide $\omega = 3 \pi$ sr	Le plus faible possible. Valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure.	

Grandeurs fondamentales

Tableau 2 — Caractéristiques des appareils de mesure (fin)

Grandeur	Symbole	Classe C (confort)			Classe S (contrainte thermique)			Observations
		Gamme de mesure	Précision	Temps de réponse (à 90 %)	Gamme de mesure	Précision	Temps de réponse	
Grandeurs fondamentales	Humidité absolue exprimée en pression partielle de vapeur d'eau	$p_a$	0,5 à 2,5 kPa Cette précision doit être garantie même pour des températures d'air et de parois égales ou supérieures à 30 °C et pour une différence $ t_r - t_a $ d'au moins 10 °C.	Le plus faible possible. Valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure.	0,5 à 6,0 kPa Cette précision doit être garantie même pour des températures d'air et de parois égales ou supérieures à 30 °C et pour une différence $ t_r - t_a $ d'au moins 10 °C.	Le plus faible possible. Valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure.		
	Température humide naturelle	$t_{nw}$	Utilisation non recommandée		5 à 40 °C	$\pm 0,5$ °C	Valeur à préciser comme caractéristique de l'appareil de mesure.	Caractéristiques du capteur imposées
	Température de globe noir	$t_g$	Utilisation non recommandée comme indice de confort		20 à 120 °C	20 à 50 °C: $\pm 0,5$ °C > 50 à 120 °C: $\pm 1$ °C	idem	Caractéristiques du capteur imposées. La température de globe noir peut également être utilisée dans les zones de température froide, modérée et chaude pour estimer la température moyenne de rayonnement.
Grandeurs dérivées	Température de globe noir humide	$t_{wg}$	Utilisation non recommandée		0 à 80 °C	$\pm 0,5$ °C	idem	La précision de mesure sur la température de globe en tant que moyen de détermination de $t_r$ n'est pas nécessairement la même que celle spécifiée pour la mesure de la température de globe en tant que grandeur dérivée. Caractéristiques du capteur imposées.

Tableau 3 — Conditions d'environnement standard pour la détermination des constantes de temps des capteurs

Mesure du temps de réponse des capteurs de	Grandeurs de l'environnement standard			
	$t_a$	$\bar{t}_r$	$p_a$	$v_a$
Température d'air	<del>                    </del>	$\approx t_a$	Quelconque	< 0,25 m/s
Température moyenne de rayonnement	$\approx \bar{t}_r$	<del>                    </del>	Quelconque	< 0,25 m/s
Humidité absolue	$\approx 20\text{ °C}$	$\approx t_a$	<del>                    </del>	A préciser suivant la méthode de mesure
Vitesse d'air	$\approx 20\text{ °C}$	$\approx t_a$	Quelconque	<del>                    </del>

Tableau 4 — Emplacements de mesure des grandeurs physiques d'une ambiance

Positions des capteurs	Coefficients de pondération des mesures pour le calcul des valeurs moyennes				Hauteurs recommandées (à titre indicatif)	
	Ambiance homogène		Ambiance hétérogène		Assis	Debout
	Classe C	Classe S	Classe C	Classe S		
Niveau tête			1	1	1,1 m	1,7 m
Niveau abdomen	1	1	1	2	0,6 m	1,1 m
Niveau chevilles			1	1	0,1 m	0,1 m

## Annexe A

### Mesure de la température de l'air

(Cette annexe ne fait pas partie intégrante de la norme.)

#### A.0 Introduction

La température de l'air doit être prise en considération dans la détermination des échanges par convection au niveau de l'homme. La mesure de cette grandeur, bien que souvent considérée comme simple, peut en fait conduire à des erreurs importantes si quelques précautions ne sont pas prises.

#### A.1 Principe de mesure d'une température

Le repérage d'une température s'effectue par la mesure de grandeurs physiques qui en sont des fonctions continues : longueur de solides, volume de liquides, résistance électrique, force électromotrice de contact, etc.

Mais quel que soit la grandeur physique mesurée, un capteur ne peut mesurer que la température à laquelle il se trouve lui-même, température pouvant différer de la température du fluide (par exemple air) à mesurer.

#### A.2 Précautions d'emploi d'une sonde de température

##### A.2.1 Réduction de l'influence du rayonnement

Il convient d'éviter que la sonde ne soit soumise au rayonnement de sources de chaleur voisines car alors la température mesurée n'est pas la température réelle de l'air, mais une température intermédiaire entre la température d'air et la température moyenne de rayonnement.

Les différents moyens de réduction de l'influence du rayonnement sur la sonde sont les suivants :

- a) réduction du facteur d'émission du capteur, ce qui conduit à utiliser un capteur poli lorsqu'il est métallique ou recouvert d'une peinture réfléchissante lorsqu'il est isolant;
- b) réduction de la différence de température entre le capteur et les parois avoisinantes. Attendu qu'il n'est pas possible de modifier la température des parois de l'enceinte, on utilise un ou plusieurs écrans réfléchissants disposés entre le capteur et l'enceinte. Ainsi le capteur « voit » une paroi dont la température est plus proche de la sienne au fur et à mesure que le nombre d'enveloppes augmente. Ce mode de protection du capteur, facile à mettre en place, est efficace. Les écrans peuvent pratiquement être constitués par des feuilles de métal réflecteur (aluminium par exemple) de faible épaisseur (0,1 ou 0,2 mm). Lorsque les écrans sont utilisés seuls, c'est-à-dire sans ventilation forcée, l'écran intérieur doit être séparé du capteur par un espace d'air suffisant afin de permettre la circulation de l'air à l'intérieur par convection naturelle;
- c) augmentation du coefficient d'échange par convection, ce qui conduit à augmenter la vitesse de l'air au niveau du capteur par ventilation forcée (ventilateur mécanique ou électrique) et à réduire la grosseur du capteur (thermistance, thermocouple).

Certains dispositifs utilisent simultanément les trois modes de protection cités précédemment, conduisant ainsi à de faibles erreurs de mesure.

##### A.2.2 Inertie thermique du capteur

Un thermomètre placé dans un environnement donné n'indique pas instantanément la température de l'air. Il lui faut un certain temps d'équilibrage correspondant à sa mise en température.

Il convient de ne pas effectuer une mesure avant que ne se soit écoulé un temps d'au moins 1,5 fois le temps de réponse (à 90 %) de la sonde.

Un thermomètre répondra d'autant plus rapidement que

- le capteur de température sera plus petit, plus léger et possèdera une chaleur spécifique plus faible;
- les échanges thermiques avec l'environnement seront meilleurs. L'augmentation du coefficient d'échange par convection au niveau du capteur, déjà favorable sur le plan des conditions établies, favorise également la réponse du thermomètre dans des conditions transitoires.