

RÉSUMÉ

J.M. DESSAGNE : Caractérisation de la qualité d'une ambiance thermique : Le profil de confort UCRES. Le C.S.T.B. a élaboré une méthode de caractérisation du degré d'homogénéité de l'ambiance thermique d'un local au centre duquel le confort est assuré en fonction de sa géométrie et des contraintes thermiques auquel il est soumis. La procédure expérimentale consiste à explorer, en régime permanent, le champ des vitesses et des températures d'air au sein de la zone d'occupation et à déterminer les températures superficielles des parois. Pour chacun des 5 types de gênes considérés, un indice de confort, déduit des données physiques ainsi collectées, caractérise en chaque point d'un réseau tri-dimensionnel l'intensité de la gêne suivant une formulation basée sur la notion de PPD. L'information est ensuite synthétisée suivant une démarche inspirée du concept d'ADPI sous forme d'un profil de confort prenant en compte non seulement la fréquence mais aussi l'intensité des différentes gênes rencontrées. Cette méthode a été appliquée à une étude sur maquette en vraie grandeur de la diffusion de l'air dans un local effectué au C.S.T.B.

SUMMARY

J.M. DESSAGNE : Evaluation of a room thermal environment quality. The UCRES comfort profile. The C.S.T.B. designed a method leading to the evaluation of the homogeneity level of a room thermal environment according to the geometry of the room and its thermal load. Comfort conditions are maintained in the center of this room. The experimental procedure consist of determining the air velocities and air temperatures distribution within the occupied zone and measuring the wall surface temperatures, in steady-state conditions. For each one of the 5 selected comfort criteria and at every point of a three-dimensional network, a comfort index, derived from the physical measurements, characterises the level of discomfort according to a formulation based upon the notion of PPD. The whole data is then synthesized according to a procedure derived from the concept of ADPI, in the form of a comfort profile taking into account not only the frequency of the 5 types of discomfort but their intensity as well. This method was applied to a full-size mock-up study of air diffusion in a room carried out by the C.S.T.B.

KURZFASSUNG

J.M. DESSAGNE : Characterisierung der Qualität einer thermischen Umgebung : Das Behaglichkeitsprofil UCRES. Der C.S.T.B. hat eine Methode zur Charakterisierung des Homogenitätsgrades der thermischen Umgebung eines Raumes, in dessen Zentrum die Behaglichkeit gewährleistet ist, in Abhängigkeit seiner Geometrie und den herrschenden, thermischen Zwängen, entwickelt. Der Versuchsaufbau besteht darin, im Gleichgewichtszustand, das Geschwindigkeitsfeld und die Temperaturen der Luft im Zentrum des Aufenthaltsbereiches zu erforschen, sowie die Wandoberflächentemperaturen zu ermitteln. Für jeden der 5 betrachteten Störfaktoren wird ein Behaglichkeitsindex von den gemessenen physikalischen Größen abgeleitet. Dieser charakterisiert für jeden Punkt eines dreidimensionalen Netzes die Intensität der Störung entsprechend einer, auf dem Begriff PPD basierenden Formulierung. Die Information wird dann entsprechend einer, vom Konzept ADPI inspirierten Methode in der Form eines Behaglichkeitsprofils, welches nicht nur die Häufigkeit sondern auch die Intensität der verschiedenen Störungen berücksichtigt, zusammengefasst. Diese Methode wurde bei Modelversuchen der Luftführung eines Raumes angewendet, die im Forschungszentrum des C.S.T.B. durchgeführt wurden.

CARACTERISATION DE LA QUALITE D'UNE AMBIANCE THERMIQUELe profil de confort UCRES

J.M. DESSAGNE
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
Champs-Sur-Marne, France

Introduction

Dans un local de géométrie donnée, soumis à diverses contraintes thermiques, les occupants agissent sur le réglage des consignes du système de chauffage afin d'obtenir un niveau de confort satisfaisant dans une certaine zone du local, généralement au centre. Le degré d'homogénéité de l'ambiance thermique dans la zone d'occupation est alors spécifique du système de ventilation et du système de chauffage qui lui est associé.

Afin de préciser les conditions de fonctionnement de ces systèmes propres à satisfaire les exigences de confort dans la zone d'occupation, il est indispensable de pouvoir disposer d'un ensemble de critères pertinents permettant de caractériser ce degré d'homogénéité à partir de données expérimentales.

De tels critères s'intéressant à un seul type de gênes ont déjà été définis ; il s'agit notamment du Lowest Predicted Percentage of Dissatisfied (LPPD) (1) pour le confort global et de l'Air Diffusion Performance Index (ADPI) (2) pour la gêne due aux courants d'air. Cette communication présente une méthode de caractérisation du degré d'homogénéité de l'ambiance thermique élaborée au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (C.S.T.B.) et utilisée dans une étude sur maquette de la diffusion de l'air dans un local.

Principe de la méthode

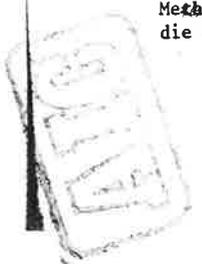
Le principe de la méthode expérimentale repose sur la détermination, en régime permanent, du champ des vitesses et des températures d'air au sein de la zone d'occupation et sur la détermination des températures superficielles des parois en vue d'accéder aux températures de rayonnement. Le climat intérieur est tel que les conditions de confort global sont supposées assurées au centre de la zone d'occupation, où la température opérative (to) est réglée par exemple à 20°C en conditions de chauffage.

Toutefois les données physiques ainsi collectées ne permettent pas de comparaison aisée entre les diverses situations envisagées ; il est donc nécessaire, malgré la perte d'information inévitable en résultant, d'extraire de cet ensemble de données des indices permettant de qualifier le résultat global obtenu.

Les étapes successives de la méthode sont donc les suivantes :

- adoption de 5 types de gênes thermiques,
- choix, pour chacun d'eux, d'un indice de confort caractérisant l'intensité de la gêne,
- calcul de ces indices en chaque point d'un réseau tri-dimensionnel et fixation de seuils délimitant 3 classes d'inconfort,
- information synthétisée suivant une démarche inspirée du concept d'ADPI (2) sous la forme d'un profil de qualité prenant en compte la fréquence et l'intensité des différentes gênes rencontrées.

AIC 1484
2098



Critères d'appréciation du confort thermique

Les résultats de nombreuses études sur le confort, tant expérimentales que théoriques (1,2,3), montrent que la considération du seul niveau de confort global est insuffisante pour effectuer le diagnostic thermique d'ambiances hétérogènes. Des gênes localisées en certaines parties du corps, généralement dues à des dépassements de seuil par certains des paramètres physiques définissant l'ambiance, sont généralement à considérer.

5 critères de confort ont donc été retenus à partir desquels ont été formulées des exigences. Pour chacun d'eux, 3 classes de confort ont été définies : 0 correspondant au confort, 1 et 2 correspondant à des degrés croissants d'inconfort ("légèrement" et "nettement" inconfortable).

Confort Thermique global : I.C.T.G.

L'Indice de Confort Thermique Global I.C.T.G. est défini comme l'écart entre la moyenne des températures opératives t_o en 3 points répartis sur une même verticale et la température opérative de confort régnant au centre de la pièce t_{oc} , t_o étant égal à la moyenne entre la température d'air et la température moyenne de rayonnement au point considéré (pour $30 < t_{hr} < 70$ %).

Les limites des classes de confort ont été établies en tenant compte de la notion de PPD (1,4) : $1,5^\circ\text{C}$ de part et d'autre de la neutralité thermique pour la classe 0, $-2,5$ à $-1,5$ et $1,5$ à $2,5$ pour la classe 1.

Gêne due aux courants d'air : température effective de courant d'air

Dans le cas de courants d'air froid, la gêne ressentie par les occupants peut être assimilée à la somme de deux écarts de température d'air, l'un réel correspondant à la différence entre température locale et température de confort, l'autre fictif tenant compte de l'augmentation des échanges thermiques avec la vitesse d'air. Cette notion a été étendue aux courants d'air chaud.

De nombreux travaux ont été consacrés à ce sujet (5,6,7,8), l'indice retenu est la température effective de courant d'air définie comme suit :

$$\theta = t_a - t_{ac} - 7,66 (V_a - 0,15)$$

où V_a = vitesse locale d'air en m/s,

t_{ac} = température de l'air au centre de la pièce.

Le domaine de confort a été défini à partir de celui utilisé pour la détermination de l'ADPI (6, 7) auquel ont été apportées quelques modifications notamment côté chaud.

Gêne due à l'asymétrie de rayonnement : température asymétrique de rayonnement

Lorsque l'environnement radiatif d'un local présente des hétérogénéités importantes, la notion de température moyenne de rayonnement ne suffit plus, il faut faire appel à la notion de température radiante orientée. L'indice retenu est la température asymétrique de rayonnement t_{ar} mis au point au C.S.T.B. (9) et donnée par l'expression (1) :

$$t_{ar} = t_{\leftarrow pr} - t_{pr \rightarrow} \quad (1)$$

où $t_{\leftarrow pr}$ = température radiante orientée vers la façade,

$t_{pr \rightarrow}$ = température radiante orientée vers la cloison arrière.

Les limites des classes ont été fixées à 8°C pour la classe 0 et 12°C pour la classe 1.

Gêne due au gradient de température tête-pieds

L'indice retenu pour caractériser cette gêne est l'écart des températures d'air mesurées sur une même verticale respectivement à 1,80 et 0,1 m au-dessus du sol (10). Cet écart est au maximum de 3 en classe 0, compris entre 3 et 5 pour la classe 1.

Gêne due à un sol chaud ou froid

Les limites admissibles de la température du sol varient suivant le type de chaussures (11). Les valeurs retenues sont 17 à 26 en classe 0, 15 à 17 et 26 à 28 pour la classe 1.

Profil de confort d'une ambiance thermique

Le profil de confort de l'ambiance thermique UCRES est déterminé à partir des valeurs des 5 indices mentionnés ci-dessus en différents "points" de la zone d'occupation (12) répartis suivant un réseau tri-dimensionnel. Il qualifie :

- . l'Uniformité horizontale de l'ambiance à partir de l'I.C.T.G.,
- . les Courants d'air à partir des températures effectives de courants d'air,
- . l'asymétrie de Rayonnement à partir des températures radiantées orientées,
- . les Écarts de températures d'air entre les pieds et la tête,
- . la température du Sol à partir de sa température superficielle.

Pour chaque indice, la partition en 3 classes (0, 1 et 2) des populations de valeurs obtenues permet de déterminer la fréquence f_0 , f_1 , f_2 d'apparition de chacune de ces classes. La gêne due au froid est distinguée de celle due au chaud.

L'établissement du profil de qualité s'effectue alors en attribuant à chacune des 5 composantes une note comprise entre -5 et +5, 0 correspondant à une situation confortable. Deux paramètres interviennent dans l'évaluation de la note ; l'un caractérise le degré d'inconfort : la classe, l'autre caractérise le nombre de "points" inconfortables dans la zone d'occupation : la fréquence de la classe (comprise entre 0 et 1). On établit un rapport d'équivalence entre un inconfort modéré (classe 1) mais diffus (fréquence élevée) et un inconfort important (classe 2) mais localisé (fréquence faible).

La note relative à une gêne est égale au nombre entier le plus proche de la valeur obtenue d'après l'expression (2)

$$N = 1,8 \ln (1 + 3 f_1 + 15 f_2) \quad (2)$$

* Certains indices de gêne caractérisent un point de la zone d'occupation, d'autres une verticale.

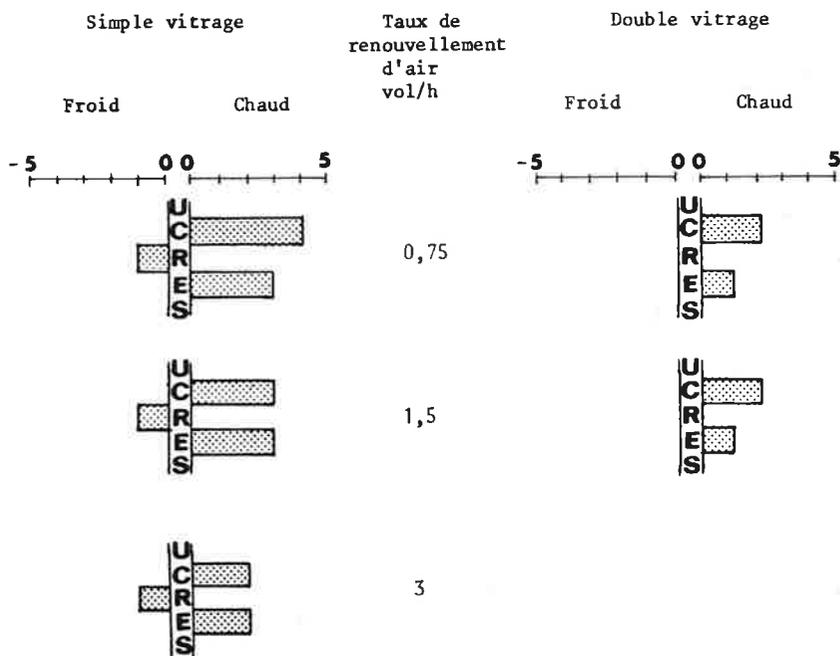
Cette formulation possède les propriétés suivantes :

- . $N = 0$ pour $f_1 = f_2 = 0$ (tous les points sont en classe 0),
- . $N = 5$ pour $f_1 = 0, f_2 = 1$, situation la plus défavorable,
- . 1 point en classe 2 "pèse" autant que 5 points en classe 1,
- . la frontière entre les notes 2 et 3 (milieu de l'échelle) s'obtient soit pour $f_1 = 1, f_2 = 0$, soit pour $f_1 = 0, f_2 = 0,2$
- . la frontière entre les notes 0 et 1 s'obtient sensiblement pour 10 % des points en classe 1 ($f_1 = 0,1, f_2 = 0$) ou pour 2 % des points en classe 2 ($f_1 = 0, f_2 = 0,02$).

Le C.S.T.B. a entrepris une étude de la diffusion de l'air dans un local au moyen d'une enceinte en vraie grandeur à parois contrôlées en flux et en température aménagée à cet effet. Cette méthode de diagnostic a alors été appliquée au cas du soufflage d'air en fond de pièce associé à un chauffage complémentaire uniformément réparti (plancher chauffant) ou localisé (convecteur). De très nombreux essais ont été réalisés, la figure 1 présente, à titre d'illustration, les résultats obtenus dans le cas d'un jet unidirectionnel et d'un convecteur en allège.

Le délicat problème posé par l'anémométrie basse vitesse a été résolu en faisant appel à un principe anémométrique original reposant sur le chauffage impulsif d'un élément thermique sensible.

Fig. 2. Exemples de profils de confort UCRES. Cas de l'air soufflé à 35°C et du convecteur en allège.



Conclusions

La méthode de caractérisation de la qualité d'une ambiance thermique - le profil de confort UCRES - exposée dans cette communication permet d'apprécier l'aptitude d'un système de ventilation et de chauffage à satisfaire les exigences de confort dans l'ensemble de la zone d'occupation d'un local dans des conditions données, le confort y étant assuré au centre. L'originalité de la démarche réside dans la prise en compte non seulement de la fréquence mais aussi de l'intensité des gênes observées et dans la prise en considération de plusieurs types de gênes.

Les exigences de confort ont été déterminées à partir des nombreux résultats expérimentaux publiés par différents laboratoires ; toutefois les suggestions des spécialistes sont vivement souhaitées, des modifications pouvant éventuellement être apportées aux limites des classes d'inconfort et au rapport d'équivalence entre inconfort modéré et important sans pour autant remettre en cause le principe de la méthode.

Références

- (1) Fanger P.O. Thermal comfort. Danish technical press, Copenhagen, 1970.
- (2) Nevins R.G. et Mac Nall Jr P.E. Règles de confort thermique de l'A.S.H.R.A.E. Bâtiment International N° 2, cahiers du C.S.T.B., 1973, 1197.
- (3) Croiset M. L'hygrothermique dans le bâtiment. Eyrolles, Paris, 1970.
- (4) Norme expérimentale X35-202. Ambiances thermiques modérées. Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique. AFNOR, 1981.
- (5) Houghten F.C., Gutberlet C. et Witkowski E. Draft temperatures and velocities in relation to skin temperature and feeling of warmth. 1938, 44, 289.
- (6) Rydberg J. et Norback P. Air distribution and draft. ASHRAE Trans. 1949 55, 225-240.
- (7) Koestel A. et Tuve G.L. Performance and evaluation of rooms air distribution systems. ASHRAE Trans. 1955, 61, 533.
- (8) Bizebard H. et Croiset M. Les entrées d'air de ventilation. Recommandations pour la suppression des courants d'air gênants. Cahiers du C.S.T.B. 1962, 478.
- (9) Anquez J. et Croiset M. L'exigence de confort thermique au voisinage des parois froides. Application aux baies vitrées. Cahiers du C.S.T.B. 1969, 833.
- (10) Olesen B.W., Mortensen E., Thorsauge J. et Berg-Munch B. Thermal comfort in a room heated by different methods. ASHRAE Trans. 1980, 86, 2, 34-48.
- (11) Nevins R.G. et Feyerherm A.M. The effect of floor surface temperatures on comfort. Part IV, cold floors. ASHRAE Trans. 1967, 73, 2, 21-28.
- (12) Riberon J. Contribution expérimentale à l'étude de la diffusion de l'air dans un local. Thèse de Doctorat de 3ème cycle. Université P. et M. Curie. 1983, Paris.