



Outdoor temperatures and comfort indoors

Michael Humphreys

To cite this article: Michael Humphreys (1978) Outdoor temperatures and comfort indoors, Batiment International, Building Research and Practice, 6:2, 92-92, DOI: [10.1080/09613217808550656](https://doi.org/10.1080/09613217808550656)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/09613217808550656>



Published online: 23 Jul 2008.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 612



View related articles [↗](#)



Citing articles: 25 View citing articles [↗](#)

Outdoor temperatures and comfort indoors

by Michael Humphreys



Using available data of outdoor temperatures in a given locality, it is possible, the author suggests, to forecast the range of temperatures that occupants will require indoors in order to feel comfortable—and this could have important implications for building design and economy. The author is Head of the Human Factors Section at the UK Building Research Establishment.

For the total sample 78 per cent of the variation of the indoor comfort temperature can be explained by the monthly mean outdoor temperature. Curves are presented which enable the comfort temperature to be predicted from published tables of outdoor temperatures, and their application to building design is discussed.

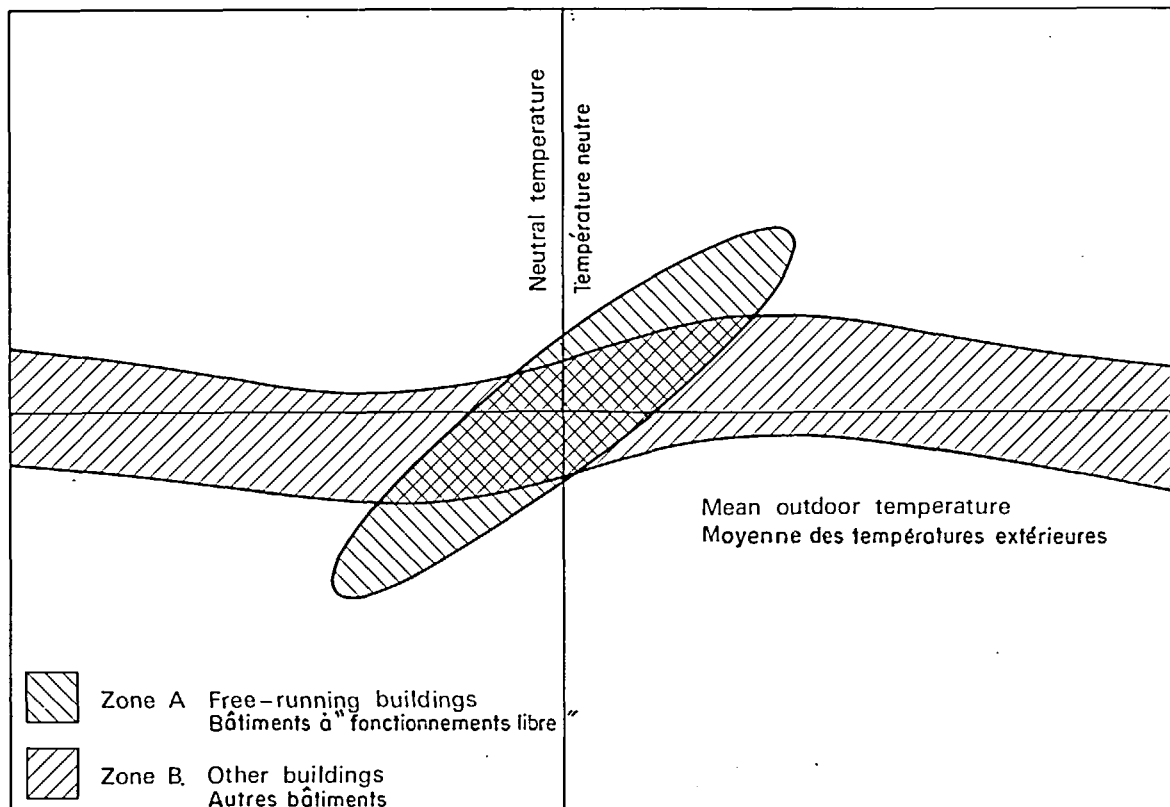
1. Introduction

In this paper a model of the dependence of indoor comfort temperatures upon the outdoor temperature is suggested, and comfort temperatures obtained from numerous thermal comfort studies are fitted to it. For buildings which are neither heated nor cooled there is a strong linear relation between the monthly mean outdoor temperature and the indoor comfort temperature. For other buildings there is a fairly strong curvilinear relation which can be improved if the mean daily maximum temperature of the hottest month is used as an additional predictor.

A recent survey of field-studies of thermal comfort (Humphreys 1975) derived an empirical relation between room temperature and the subjective thermal response of the occupants. It was shown that the temperature required for comfort could be estimated from the average room temperature over the period.

Figure 1

Probable dependence of neutral or "comfortable" temperature upon climate
Subordination probable de la température neutre ou « confortable » au climat



Température extérieure et confort intérieur

par Michael Humphreys

L'auteur suggère qu'il est possible, à partir des données disponibles sur la température extérieure de telle ou telle localité, de prévoir la fourchette de températures qui permettra aux habitants de se sentir bien chez eux — ce qui pourrait avoir des répercussions importantes au niveau de la conception des bâtiments et sur le plan financier.

Michael Humphreys dirige le Département « Facteurs Humains » du BRE au Royaume-Uni.

Cet article expose un modèle de la dépendance qui existe entre les températures nécessaires au confort intérieur et la température extérieure et montre comment les premières, obtenues à partir de nombreuses études portant sur le confort thermique, y sont adaptées. Pour les bâtiments qui ne sont ni chauffés ni climatisés, il existe une relation fortement linéaire entre la moyenne des températures extérieures mensuelles et la température de confort intérieur. Quant aux autres bâtiments, ils présentent une relation très curviligne qui peut être améliorée si l'on utilise, comme facteur prévisionnel supplémentaire, la moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud.

Pour la totalité de l'échantillonnage, 78 % de la variation de la température nécessaire au confort intérieur peut s'expliquer par la moyenne des températures mensuelles extérieures. Les courbes présentées permettent de prédire la température nécessaire au confort à partir des tableaux publiés des températures extérieures, puis suit une discussion sur leur application à la conception des bâtiments.

1. Introduction

Un examen récent d'études menées sur place et portant sur le confort thermique (Humphreys 1975) a permis d'établir une relation empirique entre la température d'une pièce et la réponse thermique subjective de ses occupants. L'auteur avait montré que la température nécessaire au confort pouvait être estimée à partir de la température moyenne de la pièce pendant la période de l'étude et que le degré d'inconfort était en rapport avec la variation de la température de la pièce pendant cette même période. La température nécessaire au confort pouvait aller de 17 °C à 30 °C.

Le but de cet article est d'étudier les effets de la température extérieure du moment sur le choix de la bonne température intérieure dans les limites de cette fourchette. La méthode utilisée consiste à établir un

rapport entre les résultats de cette recherche du confort et les données météorologiques qui sont publiées.

2. Discussion préliminaire

Dans un climat agréable, l'inconfort thermique que l'on ressent en entrant ou en sortant d'un bâtiment peut être minimisé en maintenant une différence aussi petite que possible entre la température intérieure et extérieure, ce qui peut être obtenu en permettant à la température intérieure de varier en fonction de la température extérieure du moment. Il y a donc de grandes chances que la température préférée obtenue à partir d'une étude de confort thermique soit liée, d'une façon ou d'une autre, à la température extérieure saisonnière, pourvu que celle-ci soit dans les limites de la fourchette trouvée agréable.

Ce lien cesse d'être avantageux si la température extérieure devient trop chaude ou trop froide, car il n'aurait pour seul avantage que de permettre aux gens d'être mal à l'intérieur comme à l'extérieur. Dans de tels climats, il vaut mieux considérer l'intérieur comme un refuge contre les rigueurs de l'environnement extérieur. Dans ces circonstances, il y a même des chances de trouver une relation inversée entre les deux températures. Gorosomov (1963) avait déjà noté cette conséquence, en indiquant dans un rapport que la température intérieure préférée, en hiver, est plus élevée dans le nord de la Russie que dans le sud.

Il peut y avoir incertitude quant à la température intérieure préférée si les conditions extérieures ne sont ni agréables ni extrêmes. C'est le cas, par exemple, au début de la période de chauffage au Royaume-Uni : on a alors le choix entre ne pas se chauffer mais porter des vêtements chauds et allumer le chauffage en portant des vêtements légers. Ces deux possibilités donnent des températures de confort différentes. Le choix dépend en partie de ce que les autres ont choisi de faire, et en partie du coût et des problèmes que pose le maniement du système de chauffage.

Les considérations ci-dessus suggèrent que la température intérieure préférée dépend de la température extérieure de la façon que montre la figure 1. Dans les conditions de « fonctionnement libre » (aucune énergie n'est consommée par les systèmes de chauffage ou de climatisation), l'on peut s'attendre à une forte dépendance vis-à-vis de la température extérieure (zone A, fig. 1). Cette zone est très limitée et centrée sur les températures extérieures les plus agréables. Pour les bâtiments chauffés ou climatisés

of the field-study, and that the degree of discomfort could be related to the variation of the room temperature during the same period. The temperature required for comfort might be as low as 17 °C or as high as 30 °C.

The purpose of this paper is to explore the effect of the prevailing outdoor temperature upon the choice of comfortable indoor temperature within this range. The method used is to relate the results of comfort research to published meteorological temperature data.

2. Preliminary discussion

In a pleasant climate, thermal discomfort on entering or leaving a building can be minimised by keeping small the difference of temperature between indoors and outdoors. This may be achieved by permitting the indoor temperature to vary in sympathy with the prevailing outdoor temperature. One would therefore expect the preferred temperature obtained from a thermal comfort survey to bear some relation to the outdoor seasonal temperature, provided this were within the range found to be pleasant.

Such a link between indoor and outdoor temperature would cease to be advantageous if the outdoor temperature were unpleasantly hot or cold. To link the indoor temperature directly to the outdoor temperature would then merely ensure that people were uncomfortable indoors as well as outdoors. It is better in such climates to regard the indoors as a haven from the rigours of the outdoor environment. In these circumstances one might expect even an inverse relation between the outdoor temperature and the preferred indoor temperature. Such an effect has been noted by Goromosov (1963), who reported that in winter the preferred indoor temperature is higher in the north of Russia than in the south.

There would be uncertainty about the preferred indoor temperature if the external conditions were neither pleasant nor extreme. An example of this uncertainty occurs at the beginning of the heating season in the United Kingdom. One can choose either to have no heating and wear warm clothes, or to turn the heating on and wear lighter clothes. The two strategies give different comfortable temperatures. The choice will partly depend upon what others have chosen to do, and partly upon the cost and trouble of operating the heating appliance.

Taken together, the above considerations suggest that the preferred indoor temperature would depend upon the outdoor temperature in the manner shown in figure 1. For the "free-running" condition (no energy being consumed by heating or cooling appliances), one would expect a substantial dependence upon the prevailing outdoor temperature (zone A, fig. 1). This zone will be limited in extent, and centred upon the most pleasant outdoor temperatures. For heated or cooled buildings (zone B, fig. 1) one would expect a fairly broad and substantially horizontal band, with some tendency to depend upon the outdoor temperature in the pleasant zone. The intersection of the two zones would appear to indicate the joint optima of indoor and outdoor temperature for human comfort.

The delineation of these zones would provide information of value to the architect and building services engineer. Such knowledge could help towards finding economical methods of construction and operation while maintaining good standards of thermal comfort for the occupant.

3. The data

3.1. The neutral temperatures

The available data on preferred temperatures are shown in table 1, column 2. They are the temperatures (either air-temperature or globe-temperature) found to be "neither warm nor cool", neutral or "comfortable" in the studies referred to. If they were not given in the original publication, the neutral temperatures—as they will now be called—have been estimated by applying regression or probit analysis (Finney 1964), fitting the lines by eye. Where both methods could be applied, the average of the two results has been used. In order to obtain the maximum relevant information, the data have where possible been divided into groups according to the season in which they were obtained. No distinctions have been made according to sex, since the difference in neutral temperature attributable to this factor is small and not central to the present discussion. In most cases it was plain from the published papers whether or not the building in which the survey was conducted was operating in the "free running" mode. In some surveys observations from both modes had been pooled. They have been placed in the category which seemed to be the more appropriate. This classification appears in column 8 of table 1.

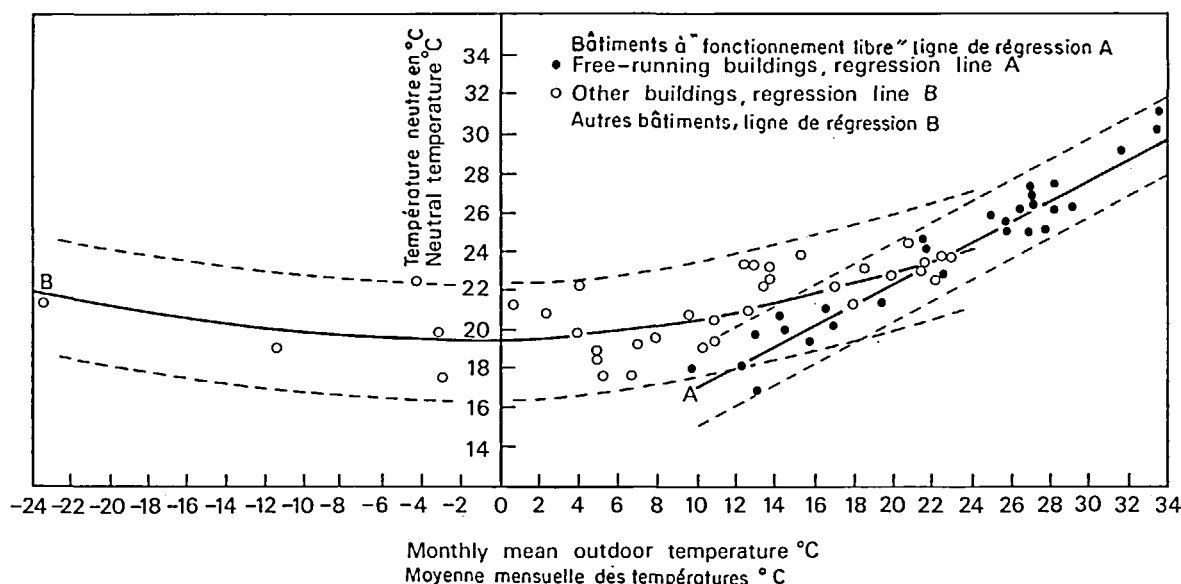


Figure 2

Scatter diagram for neutral temperature

Diagramme de dispersion de la température neutre

(zone B, fig. 1), on a toutes chances d'obtenir une bande assez large et nettement horizontale, avec une légère tendance à dépendre de la température extérieure dans la zone agréable. L'intersection des deux bandes semblerait indiquer les températures optimales intérieure et extérieure pour le confort humain.

La délimitation de ces zones fournit des informations précieuses pour l'architecte et l'ingénieur chargé des aménagements dans les bâtiments. Ces connaissances doivent aider à trouver des méthodes économiques de construction et de fonctionnement, tout en assurant aux occupants un bon degré de confort thermique.

3. Les données

3.1. Les températures neutres

La deuxième colonne du tableau I indique les données disponibles sur les températures préférées. Ce sont les températures (soit de l'air, soit de la terre) qui sont trouvées « ni chaudes ni froides », neutres ou « confortables » dans les études de référence. Lorsqu'elles n'apparaissent pas dans la publication originale, les températures neutres — comme nous les appellerons désormais — ont été estimées en appliquant l'analyse par la méthode des probits ou l'analyse de régression (Finney 1964), en ajustant les lignes à l'œil nu. Dans le cas où l'on pouvait appliquer les deux méthodes, on a pris la moyenne de deux résultats. Afin d'obtenir le maximum d'informations pertinentes, on a séparé, autant que possible, les données en groupes différents selon la saison où les relevés ont été effectués. Par contre, il n'a pas été fait de distinction quant au sexe, puisque l'influence de ce facteur sur la température neutre est faible et n'a pas d'incidence majeure sur notre sujet. Dans la plupart des cas, il a été facile d'après les publications de savoir si le bâtiment où étaient faits les relevés était en « fonctionnement libre » ou pas. Dans quelques études, il avait été enregistré des observations sur les deux types de bâtiments et elles ont été placées dans la catégorie qui semblait la plus appropriée; c'est cette classification qui apparaît dans la huitième colonne du tableau I.

La plupart des relevés compris dans le tableau I sont ceux qui ont déjà été passés en revue dans le

Current Paper CP 75/76 (Humphreys 1975); en ont été omis, cependant, les relevés de voyages maritimes (Ellis 1952, Malhotra 1955) puisqu'ils ne se réfèrent pas à un emplacement précis ainsi que d'autres relevés aux sous-traitements de résultats (Ambler 1966, Lane 1965). d'où ne pouvait être déduite une température neutre.

Certaines informations supplémentaires ont été incorporées dans le tableau I : il s'agit de relevés de confort thermique disponibles depuis peu (Ballantyne, et al. 1976, Gagge 1975), d'autres relevés qui, s'ils n'étaient pas suffisamment détaillés pour le recensement précédent, sont utiles ici (Macpherson 1964, Wong 1967), des observations relevées en hiver (Goromosov 1963, Mookerjee 1953) ainsi que certaines études faites en salles expérimentales au climat contrôlé (Partridge 1935, Tasker 1938) et qui sont fort importantes. Ces dernières ont été rajoutées à juste titre parce que les sujets portaient leurs vêtements de tous les jours pendant les tests, de sorte que les résultats reflètent très exactement les températures préférées en situation normale.

3.2. Les données météorologiques

Dans la plupart des cas, ce sont celles des tableaux de l'Organisation Météorologique établis pour le monde entier (HMSO 1958-72). Dans certains cas, on a calculé la température quotidienne moyenne (maximale et minimale) selon les saisons et les lieux; dans d'autres, on a utilisé, lorsqu'elles étaient facilement disponibles, des observations locales contemporaines des études et qui sont données dans les colonnes 3 et 4 du tableau 1.

4. Montage des observations

4.1. Caractéristiques générales

La figure 2 est un diagramme de dispersion des températures neutres (tableau I, col. 2) par rapport à la moyenne des températures moyennes quotidiennes

Table 1 *Subjective comfort temperature and outdoor temperature*

[illegible]

Tableau 1 Température de confort subjective et température extérieure

Continent d'origine et premier auteur	Température neutre d'après relevés (°C)	Moyennes journalières pour cette période (°C) max min		Données météo- rologiques pour :	Mois compris	Type de bâtiments	Mode de fonction- nement	Commentaires
1	2	3	4	5	6	7	8	9
AmRIQUE Ambler 1955	25,0 ⁽²⁾	30,6	21,1	Port Harcourt	Toute l'année	Bureaux et logements	F	
AUSTRALASIE Ballantyne 1967	25,4	31,1	24,4	Port Moresby	Janv-mars	Logements	F	Caucasiens
Ballantyne 1967	25,4	28,3	23,0	Port Moresby	Juil-sept	Logements	F	Caucasiens
Ballantyne 1976	25,0	29,8 ⁽⁴⁾	23,9 ⁽⁴⁾	Port Moresby	Nov-fév-août	Logements	F	Caucasiens
Ballantyne 1976	27,2	29,8 ⁽⁴⁾	23,9 ⁽⁴⁾	Port Moresby	Nov-fév-août	Logements	F	Melanésiens
Ballantyne 1976	22,8	25,6	13,9	Melbourne (Vic)	Février	Bureaux	E	
Ballantyne 1976	20,8	13,3	5,6	Melbourne (Vic)	Juillet	Bureaux	E	
Hindmarsh 1962	24,2	25,2	18,0	Sydney (NSW)	Janv-mars	Bureaux	F	
Hindmarsh 1962	23,9	18,9	11,5	Sydney (NSW)	avril-juin	Bureaux	E	
Hindmarsh 1962	22,3	17,4	9,1	Sydney (NSW)	Juil-sept	Bureaux	E	
Hindmarsh 1962	21,4	23,3	15,4	Sydney (NSW)	oct-déc	Bureaux	F	
Macpherson 1964	26,2 ⁽³⁾	32,8	23,3	Darwin (NT)	Toute l'année	Bureaux	F	Données en prove- nance de Batchelor, près de Darwin
Macpherson 1964	27,6 ⁽³⁾	32,8	23,3	Darwin (NT)	Toute l'année	Bureaux	F	
Wong 1967	21,0	16,3	8,5	Sydney (NSW)	Juin-août	Bureaux	E	
Wong 1967	23,0	25,0	17,6	Sydney (NSW)	Déc-février	Bureaux	E	
Wyndham 1963	26,2 ⁽²⁾	32,8	25,0	Napoon (Q)	Mars	Cantine	F	
ASIE Ellis 1953	26,4	30,6	23,3	Singapour	Toute l'année	Bureaux et logements	F	
Goromosov 1963	22,7	29,0	15,9	URSS Sud	Juin-août	Appartements	F	Données météorolo- giques rassemblées d'après relevés dans plusieurs villes de cha- que région du pays
Goromosov 1963	21,5	— 20,1	— 26,6	URSS Nord	Déc-février	Appartements	E	
Goromosov 1963	19,0	— 8,3	— 14,9	URSS Central	Déc-février	Appartements	E	
Goromosov 1963	17,5	1,0	— 7,1	URSS Sud	Déc-février	Appartements	E	
Mookerjee 1952/3	29,1 ⁽²⁾	37,8	25,4	New Delhi	Avril-juil	Divers	F	
Mookerjee 1952/3	21,0 ⁽²⁾	24,2	8,8	New Delhi	Nov-février	Divers	F	
Nicol 1974	31,2 ⁽¹⁾	43,3	24,4	Baghdad	Juil-août	Bureaux et logements	F	
Nicol 1974	30,1 ⁽¹⁾	39,7	27,2	New Delhi	Mai-juin	Bureaux et logements	F	
Rao 1952	26,1	31,7	21,1	Calcutta	Toute l'année	Bureaux et logements	F	
Webb 1959	27,3	30,6	23,3	Singapour	Toute l'année	Bureaux et logements	F	
AMÉRIQUES Lane 1965	22,2	8,9	— 1,1	Des Moines (Iowa)	Novembre	Salle de classe	E	Enfants
McConnell 1940	23,7 ⁽²⁾	26,9	17,8	New York	Juil-sept	Bureaux	E	Données de Nevin Voir également Rowley 1947
Gagge 1976	23,9	26,7	18,9	New York	Août	Bureaux	E	
Newton 1938	23,6 ⁽²⁾	26,8	16,2	Minneapolis	Juin-sept	Bureaux	E	
Partridge 1935	24,5 ⁽²⁾	26,1	15,0	Toronto	Juillet	Salle climatisée	E	Enfants
Partridge 1935	22,5 ⁽²⁾	— 0,6	— 8,1	Toronto	Déc-février	Salle climatisée	E	Enfants
Pepler 1971	23,5	16,7	8,3	Portland (Oregon)	Octobre	Salle de classe	E	Professeurs
Pepler 1972	22,3	18,9	8,3	Portland (Oregon)	Mai	Salle de classe	E	Enfants
Pepler 1971	23,6	16,7	8,3	Portland (Oregon)	Octobre	Salle de classe	E	Professeurs
Pepler 1972	22,6	18,9	8,3	Portland (Oregon)	Mai	Salle de classe	E	Enfants
Sa' 1938	24,6	24,4	18,1	Rio de Janeiro	Mai-octobre	Collège	F	
Sa' 1938	25,8	27,9	21,7	Rio de Janeiro	Nov-avril	Collège	F	
Tasker 1938	22,5	27,3 ⁽⁴⁾	16,7 ⁽⁴⁾	Toronto	Juillet	Salle climatisée	E	
EUROPE Angus 1957	18,9	6,8	2,6	Londres (Kew)	Déc-février	Salle de conférence	E	
Auliciems 1973	20,9	18,5	9,9	Londres (Kew)	Mai-juin	Salle de classe	F	Enfants
Auliciems 1969	17,6	9,2	3,8	Londres (Kew)	Oct-mars	Salle de classe	E	Enfants

Continent of origin and first Author	Neutral temp from survey °C	Average daily max and min for period °C		Meteorological data for:	Months included	Type of building	Mode of operation	Comments
Humphreys 1970	19.9	6.8 (4)	0.8 (4)	Garston	Feb, Nov, Dec	Offices	E	Garston is north of London
Humphreys 1970	19.7	11.9 (4)	3.4 (4)	Garston	Mar, Apr	Offices	E	
Humphreys 1970	19.3	14.6 (4)	6.9 (4)	Garston	Oct, May	Offices	E	
Humphreys 1970	20.0	18.8 (4)	10.0 (4)	Garston	Jun, Sep	Offices	F	
Humphreys 1970	20.2	21.0 (4)	11.7 (4)	Garston	Jul, Aug	Offices	F	
Humphreys 1973	19.9	16.8 (4)	8.9 (4)	Garston	Jun	Classrooms	F	Children Unpublished, BRS data on young children Teachers Teachers
Humphreys 1973	18.1	16.4 (4)	7.8 (4)	Garston	Jun	Classrooms	F	
Humphreys 1973	16.8	16.8 (4)	8.9 (4)	Garston	Jun	Classrooms	F	
SIB 1967	19.8	—	1.0 —	Several	Jan	Classrooms	E	
SIB 1967	~ 19.0	15.0	5.3	Swedish towns	May	Classrooms	E	
Wanner 1973	21.2	3.5	— 2.3	Zurich	Dec-Feb	Lecture theatre	E	
Wanner 1973	23.1	23.7	12.8	Zurich	Jun-Aug	Lecture theatre	E	
Wyon 1968	20.5	13.9	7.3	London (Kew)	All year	Operating theatre	E	

KEY 1. Estimated for 0.1 m/s air-speed from author's regression equations.
2. Estimated from Effective Temperature upon available information.
3. Estimated from the temperature of the neutral/warm transition by subtracting 2 °C.
4. Local meteorological data contemporary with comfort observations.
F 'Free running' building, no energy used for heating or cooling.
E Building with heating or cooling plant using energy.

There is however a lack of information from climate-controlled buildings in hot environments. The statistics of the neutral temperatures corresponding to zones A and B of figure 1 are now considered.

Many of the studies included in table 1 are those previously reviewed in BRE Current Paper CP 75/76 (Humphreys 1975). However, surveys from sea voyages (Ellis 1952, Malhotra 1955) have been excluded, since they refer to no single geographical location, and some other surveys of subsets of results (Ambler 1966, Lane 1965), from which a neutral temperature could not be deduced, have also been omitted.

Certain additional information has been included in table 1. Some surveys of thermal comfort have recently become available (Ballantyne, et al, 1976, Gagge 1975) and are included. Others which were not sufficiently detailed for the earlier review are useful for the present purpose (Macpherson 1964, Wong 1967, and winter observations from Goromosov 1963 and Mookerjee 1953). A significant addition is the inclusion of certain studies conducted in climate-controlled experimental rooms (Partridge 1935, Tasker 1938). It was appropriate to include them because the subjects were wearing their normal everyday clothing during the tests, and so their results would reflect fairly accurately the temperatures preferred in their normal accommodation.

3.2. The meteorological data

In most cases the meteorological data in table 1 have been obtained from the Meteorological Office world tables (HMSO 1958-72). The average daily maximum and minimum temperatures for the relevant seasons and locations have been calculated. In other cases, where they were readily available, local observations contemporary with the survey have been used for analysis and are shown in columns 3 and 4 of table 1.

4. Fitting the observations

4.1. General features

Figure 2 is a scatter diagram of the neutral temperatures (table 1 col 2) against the mean of the average daily maximum and minimum temperatures for the survey period (the average of cols 3 and 4 of table 1). The resemblance to figure 1 is immediately apparent.

4.2. "Free-running" buildings

For surveys during which the buildings were neither heated nor cooled (the filled circles in figure 2), 94 per cent of the variation of the neutral temperature is associated with the variation of the outdoor mean temperature (coefficient of correlation $r = 0.97$). The equation of the regression line is

$$T_n = 11.9 + 0.534 \theta \quad (\text{Equation 1})$$

where T_n is the predicted neutral temperature and θ the mean outdoor temperature for the months in question. The residual standard deviation of the neutral temperature about the regression line is 1.0 °C. The range of application is from 10° < 0 < 33 °C, though it should be noted that all the observations below 14 °C arise from surveys of schoolchildren in the United Kingdom.

Annual average temperatures, or summer or winter maxima and minima, if included in the regression equation, make no significant reduction in the residual standard deviation. Nor can the residual standard deviation be significantly reduced by altering the relative weights of the average daily maximum and minimum temperatures (cols 3 and 4 of table 1) from their simple mean.

For the free-running buildings, the neutral temperature can therefore be predicted with considerable precision from the seasonal monthly average outdoor temperature, and the value is independent of the diurnal range of variation of outdoor temperature. The relation is shown as line A on figure 2, together with the 95 per cent confidence limits of the neutral temperatures. The gradient indicates that for every degree change in the seasonal mean temperature, the neutral indoor temperature changes in sympathy by just over half a degree.

4.3. Heated or cooled buildings

Also on figure 2 is shown the scatter diagram of the neutral temperatures for occupants of buildings with the heating or cooling plant in operation (open circles on figure 2). The absence of survey information from such buildings in hot climates will be noticed.

Continent d'origine et premier auteur	Température neutre d'après relevés (°C)	Moyennes journalières pour cette période (°C)		Données météo- rologiques pour :	Mois compris	Type de bâtiments	Mode de fonction- nement	Commentaires
Bedford 1936	18,4	6,8	2,6	Londres (Kew)	Déc-février	Usines	E	Industrie légère
Black 1954	19,2	9,2	4,1	Londres (Kew)	Oct-mars	Bureaux	E	
Black 1966	22,2	21,2	12,8	Londres (Kew)	Juin-août	Bureaux	E	
Davies 1972	18,0	12,3	7,0	Birkenhead	Toute l'année	Salle de classe	F	École « solaire »
Fox 1973	17,5	7,8	2,6	Londres (Kew)	Janv-mars	Logements	E	Personnes âgées
Grandjean 1966	20,9	5,9	— 1,5	Zurich	Janv-mars	Bureaux	E	
Grandjean 1968	21,3	23,3	12,4	Zurich/Bâle Berne	Juin-sept	Bureaux	E	Avec climatisation par- fois
Hickish 1955	19,4	20,1	11,6	Londres (Kew)	Mai-août	Usines	F	Industrie légère
Humphreys 1970	19,9	6,8 (4)	0,8 (4)	Garston	Fév-nov-déc	Bureaux	E	
Humphreys 1970	19,7	11,9 (4)	3,4 (4)	Garston	Mars-avril	Bureaux	E	} Garston est au nord de Londres
Humphreys 1970	19,3	14,6 (4)	6,9 (4)	Garston	Octobre-mai	Bureaux	E	
Humphreys 1970	20,0	18,8 (4)	10,0 (4)	Garston	Juin-sept	Bureaux	F	
Humphreys 1970	20,2	21,0 (4)	11,7 (4)	Garston	Juillet-août	Bureaux	F	
Humphreys 1973	19,9	16,8 (4)	8,9 (4)	Garston	Juin	Salle de classes	F	Enfants
Humphreys 1973	18,1	16,4 (4)	7,8 (4)	Garston	Juin	Salle de classes	F	} Données non publiées du BRS sur de jeunes enfants
Humphreys 1973	16,8	16,8 (4)	8,9 (4)	Garston	Juin	Salle de classes	F	
S I B 1967	19,8	— 1,0	— 6,0	Plusieurs villes	Janvier	Salle de classes	E	Professeurs
S I B 1967	~ 19,0	15,0	5,3	suédoises	Mai	Salle de classes	E	Professeurs
Wanner 1973	21,2	3,5	— 2,3	Zurich	Déc-février	Amphithéâtre de conférence	E	
Wanner 1973	23,1	23,7	12,8	Zurich	Juin-août	Amphithéâtre de conférence	E	
Wyon 1968	20,5	13,9	7,3	Londres (Kew)	Toute l'année	Salle opératoire	E	

1. Estimation pour une vitesse de l'air de 0,1 m/s d'après les équations de régression de l'auteur.
2. Estimation d'après la température réelle d'après les informations disponibles.
3. Estimation d'après la température de transition neutre (chaud en soustrayant 2 °C).

4. Renseignements météorologiques locaux à la date des observations de confort.
- F. Bâtiments à « fonctionnement libre », aucune énergie nécessaire pour le chauffage ou la climatisation.
- E: Bâtiment avec installation de chauffage ou de climatisation utilisant de l'énergie.

maximale et minimale durant la période de relevé (moyenne des colonnes 3 et 4 du tableau 1). La similarité avec la figure 1 saute immédiatement aux yeux. Il manque cependant des informations sur les bâtiments à climat contrôlé dans les régions chaudes. Étudions maintenant les statistiques des températures neutres correspondant aux zones A et B de la figure 1.

4.2. Bâtiments à « fonctionnement libre »

Pour les relevés des périodes durant lesquelles les bâtiments n'étaient ni chauffés ni climatisés (cercles pleins dans la figure 2), 94 % de la variation de la température neutre est associé à la variation de la moyenne des températures extérieures (coefficient de corrélation $r = 0,97$). L'équation de la ligne de régression est

$$T_n = 11,9 + 0,534 \theta \quad (\text{Équation 1})$$

où T_n est la température neutre prédite et θ la moyenne des températures extérieures pour les mois en question. L'écart-type résiduel de la température neutre autour de la ligne de régression est de 1,0°. La latitude d'application est comprise entre $10^\circ < \theta < 33^\circ$, mais il faut noter que toutes les observations en dessous de 14 °C viennent d'écoles au Royaume-Uni.

Si on intègre dans l'équation de régression les températures annuelles moyennes ou les minimums et maximums d'été ou d'hiver, ils n'amènent pas de diminution notable de l'écart-type résiduel. Et celui-ci

ne peut pas être non plus réduit de façon notable si l'on fait varier les facteurs pondérateurs relatifs des températures moyennes quotidiennes (maximum et minimum) (colonnes 3 et 4 du tableau 1) de leur simple moyenne arithmétique.

Pour les bâtiments à « fonctionnement libre », la température neutre peut donc être prédite avec une extrême précision à partir de la température extérieure moyenne mensuelle pour chaque saison et sa valeur est indépendante de la variation de la température à l'extérieur pendant la journée. Cette relation est représentée par la ligne A de la figure 2, en même temps que les limites de confiance à 95 % des températures neutres. La pente indique que, pour tout changement d'un degré dans la moyenne des températures saisonnières, la température neutre intérieure ne change, par solidarité, que d'un tout petit peu plus de 0,5 °C.

4.3. Bâtiments chauffés ou climatisés

La figure 2 donne également le diagramme de dispersion des températures neutres pour les occupants de bâtiments comportant une chaufferie ou une installation de climatisation en état de marche (cercles non noirs, fig. 2). On remarquera l'absence d'informations sur ce type de bâtiments dans les climats chauds.

In order to allow for the curvature in the relation between T_n and θ over the range -24° to $+24^\circ$ outdoor temperature, a polynomial of the form $T_n = a_0 + a_1\theta + a_2\theta^2 + a_3\theta^3 + \dots + a_6\theta^6$ (Equation 2)

was fitted to the observations, using multiple regression. It was found that not significant increase in accuracy could be obtained by including more than three variables. The best three were θ^2 , θ^3 and θ^5 , which together explained 56 per cent of the variation of the neutral temperature ($r = 0.75$). The residual standard deviation of the neutral temperature was 1.4° .

The average daily maximum temperature of the hottest month of the year (which is available from the HMSO tables, but not included in table 1) was found to add significantly to the explained variation of T_n , raising it from 56 per cent to 61 per cent ($r = 0.78$). This could be taken to mean that normal summertime temperature of a region affects the indoor temperature found comfortable at other times of the year. However, although significant in the statistical sense ($t = 3.74$, 31df, $p < 0.001$), the practical difference is quite small, the residual standard deviation reducing from 1.4° to 1.2° .

An equation derived in this manner, while fitting the observations empirically within the range of the data, does not have the form suggested by figure 1, since, if extrapolated beyond the range of the data, it tends to infinity rather than to constant value. Furthermore, its flexibility causes it to wander in an improbable manner within the range of the data, leading to an over-estimation of the explained variation. So it seemed advisable to adopt a mathematical model more consistent with the overall expected variation, and not so subject to local detailed irregularities of the data. A relatively simple function of the required form is

$$f(x) = -x \exp(-x^2) \quad (\text{Equation 3})$$

It tends to zero when x becomes large or small, has a positive gradient through the origin, a minimum at $-1/\sqrt{2}$ and a maximum at $+1/\sqrt{2}$.

Using the appropriate symbols, while allowing the centre to be displaced from the origin of coordinates, and incorporating parameters to allow for the appropriate placing of the maximum and minimum of the generated curve, we have

$$T_n = a_0 + a_1 (\theta - \theta_0) \exp \left(- \left[(\theta - \theta_0) / (\theta_m \sqrt{2}) \right]^2 \right) \quad (\text{Equation 4})$$

The origin has been moved to the point θ_0 , a_0 , and the maximum and minimum now occur at $(\theta_0 + \theta_m)$ and $(\theta_0 - \theta_m)$ respectively; a_0 and a_1 are constants. θ_0 was set at 22°C , which is the abscissa of the intersection of the two sets of observations on figure 2. The best fit was found to occur when

$$\begin{aligned} \theta_m &= 24^\circ \\ a_0 &= 23.9^\circ \\ a_1 &= 0.295 \end{aligned}$$

The equation explains 52 per cent of the variation of the neutral temperature ($r = 0.72$) and the residual standard deviation is 1.5°C . The relation is shown as curve B on figure 2, together with the 95 per cent confidence limits for the neutral temperatures.

Again it was found that while the average daily maximum temperature of the hottest month of the year made a statistically significant difference to the accuracy of predicting the neutral temperature, the practical value of the difference was small. With this term included, the explained variation rose to 61 per cent ($r = 0.78$), while the residual standard deviation reduced to 1.3°C .

4.4. The combined observations

From the point of view of suggesting human requirements, it is inconvenient to have the prediction of preferred temperature divided into different relations according to the use made of heating and cooling plant. While pooling the two sets of observations obscures an interesting qualitative difference, it does not entail such a loss of information as might at first be thought. At the intersection of the two zones, the predicted neutral temperatures are equal, while for extreme climates the use of heating or cooling is clearly desirable. The loss of information will therefore be confined to the zone where it is uncertain whether heating and cooling should be used. This uncertainty implies that there is little to choose between the two strategies; if this is so, a temperature intermediate between the two predictions would be a satisfactory, though not unique, estimate of the human requirement.

Because of the previously noted absence of observations from air-conditioned buildings in hot climates, the use of a polynomial to fit the total data would be rather misleading, so it was again decided to fit an equation of the type

$$f(x) = -x \exp(-x^2)$$

to the data. Using the symbols of equation (4) and retaining 22°C as the value for θ_0 , the best fit was found to occur when

$$\theta_m = 20^\circ\text{C} \quad a_0 = 24.2^\circ\text{C} \quad a_1 = 0.430$$

Afin de tracer la courbe dans la relation entre T_n et θ pour les températures extérieures allant de -24°C à $+24^\circ\text{C}$, on a adapté aux observations un polynôme de la forme

$$T_n = a_0 + a_1\theta + a_2\theta^2 + a_3\theta^3 + \dots + a_6\theta^6$$

(Équation 2)

en utilisant la régression multiple. On s'est aperçu qu'aucune augmentation notable de l'exactitude ne pouvait être obtenue par l'intégration de plus de trois variables; les trois meilleures étant θ^2 , θ^3 et θ^5 qui, à elles trois, expliquaient 56 pour cent de la variation de la température neutre ($r = 0,75$). L'écart-type résiduel de la température neutre était de $1,4^\circ\text{C}$.

On a trouvé que la température journalière moyenne maximale du mois le plus chaud de l'année (que l'on trouve dans les tableaux HMSO mais qui n'est pas reproduite dans le tableau 1) explique d'une façon significative la variation de T_n , pouvant l'augmenter de 56 pour cent à 61 pour cent ($r = 0,78$). On peut en déduire que la température estivale normale d'une région joue sur la température intérieure trouvée confortable des autres périodes de l'année. Mais la différence, si elle a une signification au plan statistique ($t = 3,74$, 31 df, $p < 0,001$), est tout à fait minime sur le plan pratique, l'écart-type résiduel tombant de $1,4^\circ$ à $1,2^\circ\text{C}$.

Ainsi dérivée, cette équation, bien qu'elle s'ajuste aux observations empiriquement classées à l'intérieur de la fourchette des données, n'a pas la forme suggérée par la figure 1, puisque si on l'extrapole au-delà de cette fourchette, elle tend vers l'infini plutôt que vers une valeur constante. De plus, sa flexibilité la fait s'égaler d'une manière peu rigoureuse dans la fourchette des données, conduisant à une sur-estimation de la variation expliquée. Il a donc semblé plus judicieux d'adopter un modèle mathématique plus logique par rapport à la variation générale attendue et moins soumis aux irrégularités locales des données. Une fonction relativement simple de la forme recherchée est

$$f(x) = -x \exp(-x^2) \quad (\text{équation 3})$$

Elle tend vers zéro quand x devient grand ou petit, a un gradient passant par l'origine pour un minimum à $-1/\sqrt{2}$ et un maximum à $+1/\sqrt{2}$.

En utilisant les symboles appropriés, tout en permettant à la valeur centrale d'être déplacée depuis l'origine des coordonnées et en intégrant des paramètres pour permettre de placer au mieux le maximum et le minimum de la courbe engendrée, nous avons

$$T_n = a_0 + a_1 (\theta - \theta_0) \exp \left(- \frac{[\theta - \theta_0]^2}{\theta_m^2} \right) \quad (\text{équation 4})$$

L'origine a été déplacée au point θ_0 , a_0 , et le maximum et le minimum se placent respectivement à $(\theta_0 + \theta_m)$ et $(\theta_0 - \theta_m)$; a_0 et a_1 étant des constantes θ_0 a été placé à 22°C , abscisse de l'intersection des deux séries d'observations, figure 4. Le meilleur ajustement se produit lorsque

$$\theta_m = 24^\circ$$

$$a_0 = 23,9^\circ$$

$$a_1 = 0,295$$

Cette équation explique 52 pour cent de la variation de la température neutre ($r = 0,72$), l'écart-type résiduel étant de $1,5^\circ$. Elle est représentée par la courbe B de la figure 2, en même temps que les 95 pour cent de limites de confiance pour les températures neutres.

Là encore, on a trouvé que si la température journalière maximale moyenne du mois le plus chaud de l'année entraînait au niveau statistique une grande différence sur la précision de prédiction de la température neutre, la valeur pratique de cette différence était très faible. La variation expliquée s'élevait (avec l'intégration de ce terme) à 61 pour cent ($r = 0,78$) tandis que l'écart-type résiduel moyen tombait à $1,3^\circ\text{C}$.

4.4. Informations conjuguées

Du point de vue suggestion de conditions thermiques nécessaires à l'homme, il est mal commode de diviser la prédiction des températures préférées en différentes relations selon l'emploi ou non d'une chaufferie et d'un système de climatisation. Si la mise en commun des deux séries d'observations cache une différence qualitative intéressante, elle n'occasionne pas une perte d'information aussi importante qu'on pourrait le penser de prime abord. A l'intersection des deux zones, les températures neutres prédites sont égales, cependant que, pour les climats extrêmes, l'emploi du chauffage ou de la climatisation apparaît comme nettement désirable. La perte d'information ne concernera donc que la zone d'incertitude quant au besoin de chauffage ou de climatisation. Cette incertitude implique que le choix est réduit entre les deux stratégies; en ce cas, une température intermédiaire entre les deux prévisions serait une estimation satisfaisante de la condition thermique nécessaire à l'homme, même si elle n'est pas la seule.

En raison de l'absence d'observations sur les bâtiments climatisés en pays chauds que nous avons signalée plus haut, l'emploi d'un polynôme pour adapter la totalité des données amènerait des erreurs,

Figure 3

Neutral temperature curves

Courbes des températures neutres

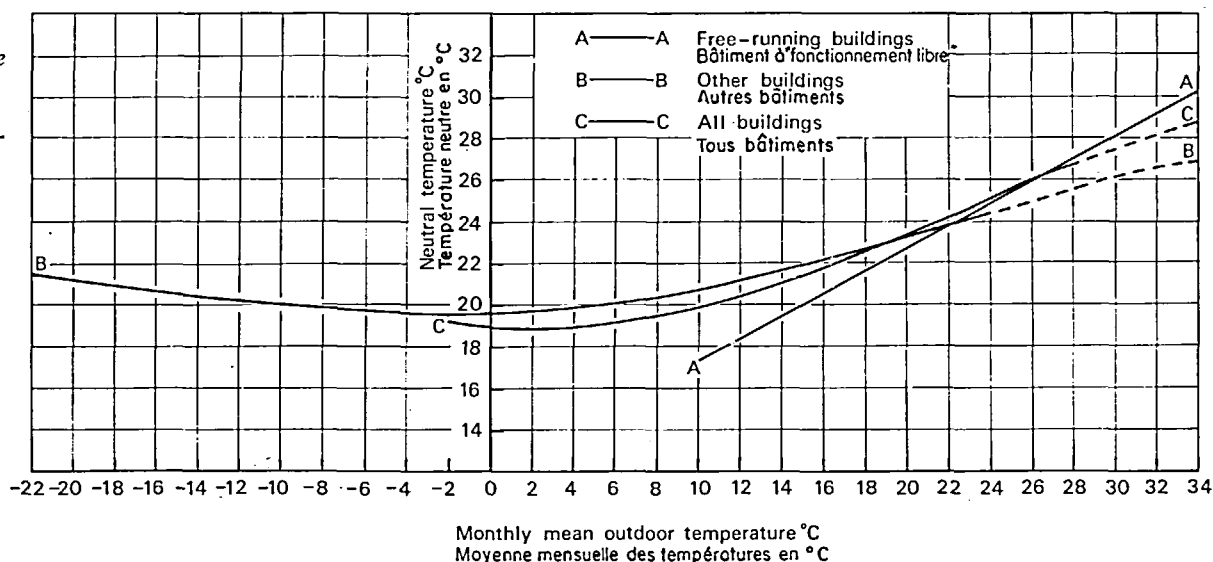


Figure 3 shows this equation (curve C) where it can be compared with those for the free-running buildings (curve A) and for the heated or cooled buildings (curve B). The equation explained 78 per cent of the variation ($r = 0.88$) and the residual standard deviation was 1.5 °C. Including the term for the daily maximum temperature of the hottest month raised the explained variation to 82 per cent ($r = 0.91$) while reducing the residual standard deviation to 1.4 °C. Again, the change is of only statistical significance.

5. Prediction of the neutral temperature

The curves of figure 3 may be used to predict the neutral temperatures for thermal comfort from the mean outdoor air temperature for the month. If it is known that the building will have no heating or cooling equipment in operation, then curve A should be used. The standard error of predicting the neutral temperature is 1.0 °C. If it is known for the month concerned that the building will be heated or cooled, then curve B should be used. The standard error of the prediction from this curve is 1.5 °C. If it is not known whether the plant will be in use, then curve C should be used. The prediction from this curve also has a standard error of 1.5 °C.

In any particular year, the actual monthly average temperature may differ appreciably from the average value over several years which is given in the meteorological tables. It is probable that in these circumstances the neutral temperature follows the actual value rather than the tabulated value. This is because the neutral temperature is largely determined by the thermal insulation of the clothing people are wearing, and changes of clothing in response to changed temperatures take a week or so to complete (Humphreys 1973). So during a hot spell one would expect the neutral temperature to rise in sympathy with the outdoor temperature, according to the appropriate curve on figure 3, though with a time-lag of some days.

The predicted neutral temperatures would apply to lightly active or sedentary people in an environment where the air temperature and the mean radiant tem-

perature were approximately equal and the air movement was slight. These conditions exist in most interiors, but if different conditions prevail, an adjustment can be made to the neutral temperature by using an appropriate combined index of the thermal environment.

The ability to predict the neutral temperature from the outdoor temperature is a useful addition to the currently available methods. In order to estimate from heat-exchange theory (eg Fanger 1970) the temperature required for thermal comfort, it is necessary to know the thermal insulation of the clothing and the rate of metabolic heat production. To use the relation recently derived from field-studies of thermal comfort (Humphreys 1975) it is necessary to know the recent thermal experience of the people concerned. It may be that neither kind of information is readily available. So it is useful to have a simple method of prediction based upon tabulated meteorological data which are readily available for most areas of the world. The success of the method rests upon the pervasive influence of climate upon clothing and metabolism, as well as upon the design, operation and thermal response of buildings.

The prediction makes no allowance for social or economic factors operating independently of the climate. Such factors can affect the clothing which is worn, and hence the temperature required for thermal comfort. Nevertheless, since over 80 per cent of the variation of the neutral temperature is explicable in terms of outdoor temperatures, factors acting independently of climate must be of comparatively minor importance.

6. Implications for building design

The curves A and B on figure 3 can be used to help to assess the need for heating or cooling to be used in buildings. For example, if at the design stage calculation showed that by making use of heat-gains from the occupants, from lighting, insulation, etc., the temperatures in the building could be controlled to correspond with curve A, or to fall between curves A and B, the provision of extra heating would be unnecessary.

aussi a-t-on décidé d'adapter aux données, une fois de plus, une équation du type

$$f(x) = -x \exp(-x^2)$$

En utilisant les symboles de l'équation 4 et en prenant 22° comme valeur de θ_0 , la meilleure solution trouvée fut pour

$$\theta_m = 20^\circ$$

$$a_0 = 24,2^\circ$$

$$a_1 = 0,430$$

La figure 3 représente cette équation (courbe C) où on peut la comparer avec celles qui concernent les bâtiments à « fonctionnement libre » (courbe A) et ceux qui sont chauffés ou climatisés (courbe B). Cette équation a expliqué 78 pour cent de la variation ($r = 0,88$), l'écart-type résiduel étant de $1,5^\circ$. L'intégration du terme relatif à la température journalière maximale du mois le plus chaud a fait monter la variation expliquée jusqu'à 82 pour cent, en ramenant l'écart-type résiduel à $1,4^\circ$. Une fois de plus, le changement n'a qu'une signification statistique.

5. Prévision de la température neutre

On peut se servir des courbes de la figure 3 pour prévoir les températures neutres pour le confort thermique d'après la moyenne des températures de l'air extérieur pour un mois donné. Si l'on sait que le bâtiment ne comportera ni chaufferie ni système de climatisation, on utilisera alors la courbe A. L'erreur moyenne de cette prévision est de 1° ; si l'on sait que, pour le mois concerné, le bâtiment sera chauffé ou climatisé, on utilisera alors la courbe B (erreur moyenne $1,5^\circ$). Par contre, si l'on ne sait pas si la climatisation ou la chaufferie fonctionneront, on se servira de la courbe C (erreur moyenne $1,5^\circ$).

Il peut arriver, une année, que la température moyenne mensuelle diffère de façon non négligeable de la valeur moyenne donnée par les tableaux météorologiques pour plusieurs années. Il est probable que, dans ces circonstances, la température neutre suit la valeur réelle plutôt que celle donnée par le tableau : ceci, parce que la température neutre est très largement déterminée par l'isolation thermique des vêtements portés par les gens et que les changements de vêtements prennent une bonne semaine pour se parachever (Humphreys 1973). Aussi, pendant une période de chaleur, il y a de fortes chances que la température neutre s'élève par solidarité avec la température extérieure, mais avec un retard de quelques jours.

Les températures neutres prédites s'appliquent à des personnes légèrement actives ou sédentaires dans un environnement où la température de l'air et la

température moyenne de rayonnement sont approximativement égales et où les mouvements de l'air sont peu importants. Ces conditions existent dans la grande majorité des foyers, mais dans le cas de conditions différentes, il peut être procédé à un réajustement de la température neutre en utilisant un exposant combiné approprié de l'environnement thermique.

Cette possibilité de prévoir la température neutre à partir de la température extérieure s'ajoute utilement aux méthodes couramment utilisées. Afin d'estimer à partir de la théorie d'échange de chaleur (cf. Fanger 1970) la température nécessaire au confort thermique, il faut connaître l'isolation thermique des vêtements et le taux de production de chaleur dû au métabolisme. Pour utiliser la relation dérivée récemment d'études sur les lieux du confort thermique (Humphreys 1975), il faut connaître les expériences thermiques récentes sur les personnes concernées. Il peut se trouver que ni l'une ni l'autre de ces informations ne soit aisément disponible, aussi est-il utile de disposer d'une méthode simple de prévision basée sur des tableaux de données météorologiques et facilement disponibles pour presque toutes les régions du monde. Le succès de cette méthode repose sur l'influence subtile du climat sur l'habillement et le métabolisme comme sur la conception, le fonctionnement du bâtiment et sa réponse thermique.

La prévision ne tient pas compte des facteurs sociaux ou économiques ayant des effets indépendants de ceux du climat. Ces facteurs peuvent, certes, influencer l'habillement et donc la température nécessaire au confort thermique, mais, puisque 80 pour cent de la variation de la température neutre est explicable en termes de températures extérieures, ils ont nécessairement une moindre importance.

6. Implications au niveau projet des bâtiments

Les courbes A et B de la figure 3 peuvent apporter une aide certaine au moment de l'estimation des besoins en chauffage et en climatisation des bâtiments. Par exemple si, au stade du projet, les calculs montraient qu'en utilisant des gains de chaleur provenant des occupants eux-mêmes, de l'éclairage, de l'isolation, etc. on pouvait contrôler les températures du bâtiment pour qu'elles correspondent à la courbe A ou qu'elles tombent entre les courbes A et B, il ne serait pas nécessaire de prendre des mesures pour prévoir un supplément de chauffage.

Pour des températures moyennes extérieures en dessous de 26°C , la température neutre intérieure est toujours plus élevée que la moyenne des températures extérieures, de sorte qu'il devrait souvent

At outdoor mean temperatures below 26 °C the neutral indoor temperature is always higher than the outdoor mean temperature, so it should in many cases be possible by careful design to achieve the desired indoor temperature without the use of cooling plant. In certain climates where the outdoor mean temperature exceeds 26 °C it may be possible to make use of large diurnal variations of the outside air temperature to keep the mean indoor temperature close to the values suggested by line A without recourse to cooling.

If, however, it proves necessary to heat the building in winter or cool it in summer, curve B indicates the temperatures most likely to prove satisfactory. An indoor temperature which varies with the season, besides being more economical in the use of fuel, is seen to be more satisfactory for the comfort of the occupants. For example, in southern England the mean temperature varies from 4 °C in January to 18 °C in July. Curve B suggests that 20 °C and 23 °C for the respective indoor temperatures would be most likely to prove satisfactory.

Conclusions

- a) The indoor temperature required for thermal comfort is related to the prevailing outdoor mean temperature.
- b) The relation is sufficiently precise to enable useful estimates of temperatures for thermal comfort to be made.
- c) The estimates can help in the thermal design of buildings and in their economical operation.

Acknowledgement

I am grateful to Professor R. K. Macpherson and to Dr A. Auliciems, whose comments on my recent review of field studies suggested to me that an analysis in terms of climate might be productive, and to Mrs M. Gidman who conducted the statistical analysis.

(This article will appear subsequently as a BRE Current Paper.)

References Bibliographie

1. Ambler, H. R., Notes on the climate of Nigeria with reference to personnel, *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 58, 99-112, 1955.
2. Ambler, H. R., Conditions of thermal comfort in North India, *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 69, 275-281, 1966.
3. Angus, T. C. and Brown, J. R., Thermal comfort in the lecture room, an experimental study of winter requirements, *JHVE*, 25, 175-182, 1957.
4. Auliciems, A., Thermal requirements of secondary school children in winter, *Journal of Hygiene, Cambridge*, 67, 59-65, 1969.
5. Auliciems, A., Thermal sensations of secondary school children in summertime, *Journal of Hygiene, Cambridge*, 71, 453-458, 1973.
6. Ballantyne, E. R. et al., Environment assessment of acclimatised Caucasian subjects at Port Moresby, Papua., *Proceedings 3rd Australian Building Research Congress*, 1967.
7. Ballantyne, E. R. et al., Probit analysis of thermal sensation assessments, Paper to annual meeting Australian Inst. Rfrig. Air Cond. and Heating, Melbourne 1976.
8. Bedford, T., The warmth factor in comfort at work, MRC Industrial Health Board, Report No. 76, HMSO London 1936.
9. Black, F. W., Desirable temperatures in offices, *JHVE*, 22, 319-328, 1954.
10. Black, F. W. and Milroy, E. A., Experience of air conditioning in offices, *JHVE*, 34, 188-196, 1966.
11. Davies, A. D. M., Subjective ratings of the classroom environment: a sixty-two week study of St George's School, Wallasey, University of Liverpool, 1972.
12. Ellis, F. P., Thermal comfort in warm humid atmospheres — observations in a warship in the tropics, *Journal of Hygiene, Cambridge*, 50, 415-432, 1952.
13. Ellis, F. P., Thermal comfort in warm humid atmospheres — observations on groups and individuals in Singapore, *Journal of Hygiene, Cambridge*, 51, 386-404, 1953.
14. Fanger, P. O., Thermal comfort, Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.
15. Finney, D. J., Probit analysis, Cambridge University Press, 1964.
16. Fox, R. H. et al., Body temperatures in the elderly: a national study of physiological, social and environmental conditions, *British Medical Journal*, 1, 200-206, 1973.
17. Gagge, A. P., Summer Survey of Thermal Preferences, Report to the Department of Interior Federal Energy Office (prepared by A. P. Gagge for the late R. G. Nevins), J. B. Pierce Foundation, 1975.
18. Goromosov, M. S., The microclimate in dwellings, Moscow State Publishing House for Medical Literature, 1963, (in English: BRS Library Communication No 1325, 1965).
19. Grandjean, E., Raumklimatische Wirkungen verschiedener Heizsysteme in Büros, *Schweiz Bl Heiz Lüft*, 3 (6), 18-23, 1966.
20. Grandjean, E., Raumklimatische Untersuchungen in Büros während der warmen Jahreszeit, *Heiz Lüft Haustechn.* 19 (4), 118-123, 1968.
21. Hickish, D. E., Thermal sensations of workers in light industry in summer, A field study in Southern England, *Journal of Hygiene, Cambridge*, 53, 112-123, 1955.
22. Hindmarsh, M. E. and Macpherson, R. K., Thermal comfort in Australia, *Australian Journal of Science*, 24 (8), 335-339, 1962.
23. HMSO, Tables of Temperature, Relative Humidity, precipitation and sunshine for the world, Parts 1-6, HMSO London 1958-1972.
24. Humphreys, M. A. and Nicol, J. F., An investigation into thermal comfort of office workers, *JHVE*, 38, 181-189, 1970, (also available as Building Research Establishment CP 14/71).

être possible, grâce à un projet très approfondi, d'atteindre la température intérieure souhaitée sans utilisation d'un système de climatisation. De même, pour certains climats où la température moyenne extérieure dépasse 26 °C, il peut être possible de se servir des importantes variations diurnes de la température de l'air extérieure pour garder la moyenne des températures intérieures proche des valeurs suggérées par la courbe A sans avoir recours à la climatisation. Si le chauffage en hiver ou la climatisation en été se révèlent cependant nécessaires, la courbe B indiquera les températures qui se trouveront être fort probablement les plus satisfaisantes. Une température intérieure qui varie avec les saisons est non seulement économique, puisqu'elle nécessite moins de fuel, mais aussi plus satisfaisante pour le confort des occupants. Dans le sud de l'Angleterre par exemple, la moyenne des températures va de 4 °C en janvier à 18 °C en juillet ; selon la courbe B, 20 °C et 23 °C sont respectivement, pour cette fourchette, les températures intérieures les plus satisfaisantes.

Conclusions

- a) La température intérieure moyenne nécessaire au confort thermique est liée à la température moyenne extérieure du moment.
- b) Cette relation est suffisamment précise pour permettre de faire des évaluations utiles pour le confort thermique.
- c) Ces évaluations peuvent apporter une aide certaine à la conception thermique des bâtiments et à leur fonctionnement économique.

Remerciements

Je tiens à remercier ici le professeur R. K. Macpherson et le docteur A. Auliciems dont les commentaires sur ma récente étude analysant les enquêtes que j'avais faites in situ m'ont suggéré l'idée qu'une analyse en termes climatiques pouvait être rentable, ainsi que Mrs M. Gidman qui a mené à bien l'analyse statistique. Cet article paraîtra ultérieurement dans un Current Paper du BRE.

References / Bibliographie

25. Humphreys, M. A., Classroom temperature, clothing and thermal comfort — a study of secondary school children in summertime, *JHVE*, 41, 191-202, 1973, (also available as Building Research Establishment CP 22/74).
26. Humphreys, M. A., The thermal comfort of young children at school in summertime, In preparation.
27. Humphreys, M. A., Field studies of thermal comfort compared and applied, Symposium on Physiological Requirements of the Microclimate, Prague, 1975, (available as Building Research Establishment paper CP 76/75).
28. Lane, W. R., Education, children and comfort, University of Iowa, 1965.
29. Macpherson, R. K., Between group differences in thermal comfort standards, Proceedings of the Lucknow Symposium, Arid Zone Research, 24, pp. 213-219, Paris, UNESCO, 1964.
30. Malhotra, M. S., Environmental comfort zone in warm and humid atmosphere, *Journal of Scientific and Industrial Research, India*, 14, 469-473, 1955.
31. McConnell, W. J. and Spiegelman, M., Reactions of 745 clerks to summer air-conditioning, *Heating Piping and Air Conditioning*, 12, 317-322, 1940.
32. Mookerjee, G. C. and Murgai, M. P., A preliminary report on the determination of comfort zone of Indian subjects during North Indian summer, *Journal of Scientific and Industrial Research, India* 11a, 14-16, 1952.
33. Mookerjee, G. C. and Sharma, R. N., A report on environmental comfort zone in dry tropics, *Journal of Scientific and Industrial Research, India*, 12a, 283-287, 1953.
34. Newton, A. B. et al., Summer cooling requirements of 275 workers in an air-conditioned office, *ASHVE Trans*, 44, 337-356, 1938.
35. Nicol, J. F., An analysis of some observations of thermal comfort in Roorkee, India and Baghdad, Iraq, *Annals of Human Biology*, 1 (4), 411-426, 1974.
36. Partridge, R. C., MacLean, D. L., Determination of the comfort zone for schoolchildren, *Journal of Industrial Hygiene*, 17, 66-71, 1935.
37. Pepler, R. D., The thermal comfort of teachers in climate-controlled and non climate-controlled schools, *ASHRAE Trans* 77, (ii), 43-51, 1971.
38. Pepler, R. D., The thermal comfort of students in climate-controlled and non climate-controlled schools, *ASHRAE Trans* 78, (i), 97-109, 1972.
39. Rao, M. N., Comfort range in tropical Calcutta — a preliminary experiment, *Indian Journal of Medical Research*, 40, (1), 45-52, 1952.
40. Rowley, F. B. et al., Comfort reactions of workers during occupancy of air-conditioned office, *ASHVE Trans* No 1321, 357-368, 1947.
41. Sa' P., Conforto Termico, Departamento de Estatística e Publicidade, Rio de Janeiro, 1938.
42. S. I. B. (Anon), Teachers opinions of classroom climate — a questionnaire survey, Statens Institut for Byggnadsforskning, Report No 31, Stockholm, 1967.
43. Tasker, C., Cooling requirements for summer comfort air-conditioning in Toronto, *ASHVE Transactions* (No 1100), 549-558, 1938.
44. Wanner, H. U., Comfort and air quality in air-conditioned rooms, In *Thermal Comfort and Moderate Heat Stress*. HMSO London, 1973.
45. Webb, C. G., An analysis of some observations of thermal comfort in an equatorial climate, *British Journal of Industrial Medicine*, 16, 297-310, 1959.
46. Wong, F. M., The significance of work comfort in architecture, *Architectural Science Review*, 119-130, December, 1967.
47. Wyon, D. P. et al., Thermal comfort during surgical operations, *Journal of Hygiene, Cambridge*, 66, 229-248, 1968.
48. Wyndham, C. H., Thermal comfort in the hot humid tropics of Australia, *British Journal of Industrial Medicine*, 20, 110-117, 1963.