

© INIVE EEIG
Operating Agent
and Management
Boulevard Poincaré 79
B-1060 Brussels – Belgium
inive@bbri.be - www.inive.org

International Energy Agency
Energy Conservation in Buildings
and Community Systems Programme



Air Infiltration and Ventilation Centre

Confort thermique adaptatif et ventilation

M. Santamouris
Université d'Athènes, Grèce

1 Introduction

Les normes relatives au confort thermique déterminent les conditions intérieures des bâtiments ainsi que la consommation d'énergie pour le chauffage et le refroidissement. Les normes actuelles de confort sont basées sur des conditions thermiques stables et, selon les recherches récentes, elles ne parviennent pas à décrire convenablement des conditions de confort dans des bâtiments non climatisés.

Les études du confort menées sur le terrain un peu partout dans le monde démontrent que l'approche dite adaptative décrit mieux les conditions de confort dans les bâtiments non climatisés. L'hypothèse de base de l'approche adaptative est exprimée par le 'principe adaptatif' qui stipule que:

“S'il se produit un changement de nature à produire un inconfort, les gens réagissent de manière à rétablir leur confort” (Humphreys et Nicol 1998).

La plupart des études ont vérifié que la température de confort était étroitement liée à la température intérieure moyenne (Humphreys 1975). On a découvert par la suite que, dans les bâtiments non climatisés, la température optimale de confort était une fonction linéaire de la température extérieure et qu'elle pouvait être prédite sur base de la température extérieure moyenne.

Sur base de ces résultats et des données de Dear et Brager (2002), on a intégré un



nouveau confort thermique adaptatif pour les bâtiments à ventilation naturelle dans la mise à jour 2004 de la norme ASHRAE – 55.

Le présent article ambitionne d'informer le lecteur quant aux principales avancées de la recherche sur le confort, de lui présenter les normes adaptatives proposées, d'étudier l'impact de la ventilation sur le confort et, parallèlement, d'évaluer les gains énergétiques possibles lorsqu'on utilise des normes de confort adaptatif au lieu de modèles stables.

2 Méthodes actuelles en matière de confort thermique

Les normes et méthodes actuelles en matière de confort thermique portent principalement sur les conditions de confort thermique dans des conditions stables. La plupart des études du confort thermique ont été menées en

laboratoire et sont basées sur des évaluations du transfert thermique entre les êtres humains et leur environnement ainsi que des conditions physiologiques requises pour un confort thermique.

Les méthodes les mieux connues et les plus largement acceptées sont l'indice de confort thermique PMV proposé par Fanger, (Fanger 1972), et le modèle à deux nœuds de thermorégulation humaine de J.B. Pierce, (Gagge 1973 et Gagge et al., 1986). Plusieurs normes de confort thermique stable ont été établies sur base de ces modèles (ISO 1994, ASHRAE 1992, Jokl 1987).

Étant donné l'interaction thermique entre l'enveloppe du bâtiment, les occupants et le système de chauffage et de refroidissement, il est très rare de rencontrer des conditions stables dans les bâtiments réels, et il est évident que la température est très loin d'être stable dans les bâtiments non climatisés. La surveillance de bâtiments solaires passifs à point de consigne constant a démontré qu'il y avait d'importantes fluctuations intérieures s'élevant entre 0.5 et 3.9 °C sous l'effet du système de contrôle (Madsen 1987). La recherche fondamentale sur le confort a conclu qu'il y avait un écart important entre les modèles stables et les modèles où l'on n'applique aucune climatisation mécanique (Humphreys 1976). Comme nous l'avons dit plus haut, cet écart est principalement dû à la variation temporelle et spatiale des paramètres physiques dans le bâtiment (Baker 1993). Il y a donc lieu d'acquiescer des connaissances sur le confort thermique dans des conditions évolutives.

Des études expérimentales récentes du confort ont conclu que le confort thermique présentait des écarts significatifs selon qu'il était étudié dans les conditions de bâtiments réels ou en laboratoire. Comme le disent Nicol et Humphreys (1973), cet écart pourrait être le résultat "*... d'un feedback entre la sensation thermique des sujets et leur comportement, et qu'ils se sont adaptés en conséquence aux conditions climatiques dans lesquelles l'étude sur le terrain était menée*". Selon des experts du confort thermique, les occupants qui vivent en permanence dans des bâtiments climatisés développent des attentes de températures basses et d'homogénéité, et ils émettent des

critiques lorsque les conditions intérieures dévient de la zone de confort à laquelle ils sont habitués. Par ailleurs, les occupants qui vivent dans des bâtiments non climatisés sont généralement mieux capables de contrôler leur environnement et ils s'habituent à la variabilité du climat et à la diversité thermique. Leurs préférences thermiques s'étendent donc à une plage plus large de températures ou de vitesses de l'air.

Selon Humphreys et Nicol (2002), les données récoltées lors de recherches récentes sur le terrain démontrent que les méthodes stables, comme la PMV, ne prédisent pas avec précision les votes réels sur l'échelle ASHRAE, car ils surestiment l'inconfort avec une marge inacceptable, surtout dans des conditions variables. Humphreys et Nicol (2002) ainsi que Parsons et al. (1997) ont fourni quelques explications sur les écarts constatés dans la théorie PMV. Selon eux, comme la PMV est un modèle stable, il y a une contradiction théorique entre les hypothèses de base du modèle et le déséquilibre supposé si le corps ressent de l'inconfort. Une seconde raison est liée à l'incertitude et au flou qui règnent lorsqu'on veut calculer exactement la chaleur métabolique et l'isolation apportée par les vêtements.

D'autres explications possibles pour les écarts constatés sont données par Nicol (2003).

3 L'approche adaptative

Le principe de l'adaptation à l'environnement thermique a été largement étudié et documenté (Nicol et al. 1995, Brager et de Dear 1998, 2000, de Dear 1998, de Dear et Brager 1998, Rijal et al. 2002).

L'hypothèse fondamentale de l'approche adaptative est exprimée par le principe adaptatif mentionné au §1. Ce principe codifie le comportement des occupants des bâtiments, lequel prend deux formes fondamentales:

- Des ajustements par rapport à la température optimale de confort par des changements de vêtements, d'activité, de position, etc. de manière à avoir une

sensation de confort dans les conditions régnautes

- L'ajustement des conditions intérieures en utilisant des moyens de contrôle tels que fenêtres, volets, ventilateurs, et, dans certaines conditions, un chauffage ou un refroidissement mécaniques. Les occupants peuvent également changer de place dans la pièce pour trouver de meilleures conditions

C'est en observant ces comportements adaptatifs que les études sur le terrain ont vérifié que la température de confort était très étroitement liée à la température intérieure moyenne (Nicol et al. 1999, McCartney et Nicol 2002). Nicol et Humphreys (1973) ont suggéré qu'on pouvait considérer un tel effet comme le résultat du feed-back entre la sensation thermique des sujets et leur comportement dans le cadre des processus de préservation de l'homéothermie (le maintien de la température corporelle).

C'est en se basant sur des données récoltées dans le cadre de nombreuses études sur le terrain que Humphreys et Nicol (1998) ont proposé un modèle de confort adaptatif. Ils ont démontré que, pour un groupe de personnes, la température de confort était proche de la température moyenne qu'ils ressentaient.

Parallèlement, une recherche très importante a été menée afin de développer une norme internationale sur le confort adaptatif. L'analyse des données contenues dans la base de données ASHRAE RP-884, en ce compris des données provenant d'études sur le confort menées partout dans le monde (de Dear et Brager 2002), a montré que *“les occupants de bâtiments à ventilation naturelle préfèrent une plage plus large de conditions qui reflètent plus étroitement les schémas climatiques extérieurs”*, alors que les prédictions PMV correspondent très bien à la préférence des occupants de bâtiments climatisés (Figure 1).

Des conclusions identiques ont été tirées dans différentes études anciennes et récentes sur le terrain (Webb 1959, Nicol 1973, Humphreys 1975, Busch 1992, Nicol et Roaf 1994, Matthews et Nicol 1995, Taki et al. 1999, Nicol et al. 1999, Bouden et Ghrab 2001). A la suite des études sur le terrain, on a découvert

que la température optimale de confort dans les bâtiments à ventilation naturelle était fonction de la température extérieure et pouvait être prédite par des équations linéaires de la forme suivante, (Humphreys 1978, Auliciems et de Dear 1986, Nicol et Raja 1995) :

$$T_{\text{conf}} = a T_{\text{a,ext}} + b$$

où $T_{\text{a,ext}}$ est la température moyenne de l'air extérieur.

de Dear et Brager (2002) ont proposé l'expression suivante:

$$T_{\text{conf}} = 0.31T_{\text{a,ext}} + 17.8$$

Pour leur part, Humphreys (1978), Humphreys et Nicol (2000) et Nicol (2002) ont proposé une expression similaire pour les bâtiments non climatisés (c'est-à-dire la majorité des bâtiments à ventilation naturelle en-dehors de la période de chauffe):

$$T_{\text{conf}} = 0.534T_{\text{a,ext}} + 11.9$$

Sur base de ces résultats, un nouveau confort thermique adaptatif pour les bâtiments à ventilation naturelle a été intégré dans la norme ASHRAE – 55 , (Figure 2). McCartney et Nicol (2002) ont suggéré qu'une moyenne glissante de la température extérieure était un meilleur indicateur de la température intérieure de confort que les moyennes mensuelles utilisées par Humphreys (1978) et plus tard par de Dear et Brager (2002), et qu'elle autorisait, dans le même temps, des écarts par rapport aux conditions météorologiques moyennes à long terme, ce qui peut se produire de temps en temps, surtout avec le changement climatique.

Comme l'analyse minutieuse menée par Humphreys et Nicol (2000) le suggère, leur travail sur les bâtiments non climatisés présente une correspondance remarquable avec la base de données ASHRAE 1998 (Humphreys 1978, de Dear 1998) (Figure 3). On a également découvert que la relation entre les deux bases de données relatives aux bâtiments climatisés était plus complexe, en ce qu'elle présentait une différence de 2°C dans la température intérieure de confort entre les résultats de Humphreys en 1978 et ceux de de Dear en 1998.

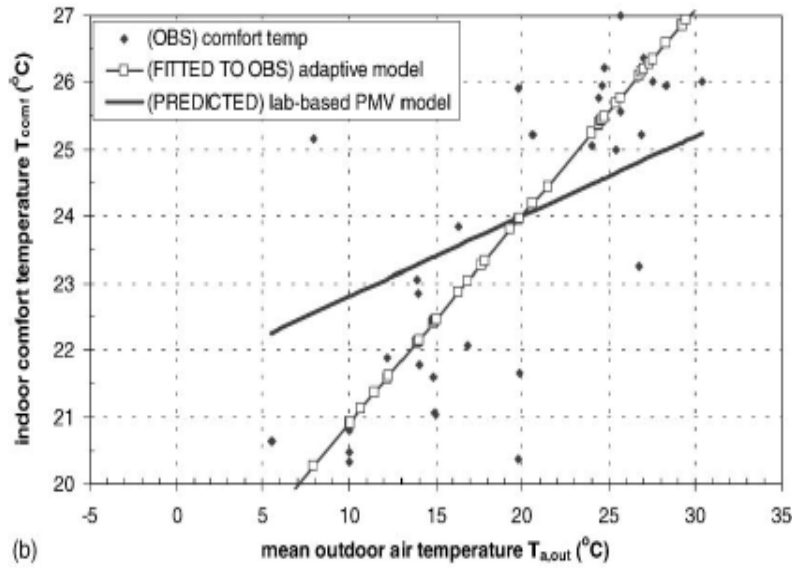


Figure 1 :
Températures
intérieures de
confort observées
(OBS) et prédites
tirées de la base de
données RP-884,
pour les bâtiments à
ventilation naturelle,
(tire de De Dear and
Brager 2002)

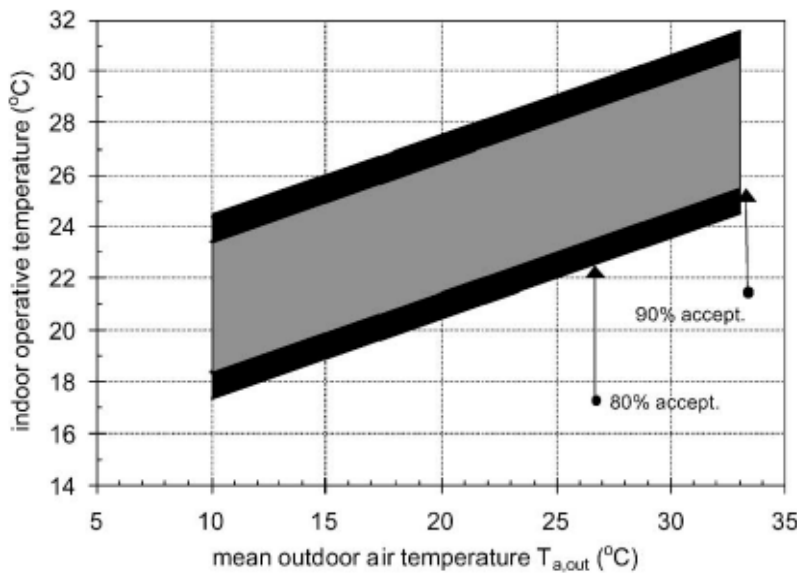


Figure 2 : Norme de
confort adaptatif
proposée (ACS) pour
la norme ASHRAE
55, applicable aux
bâtiments à
ventilation naturelle,
(tiré de De Dear et
Brager 2002)

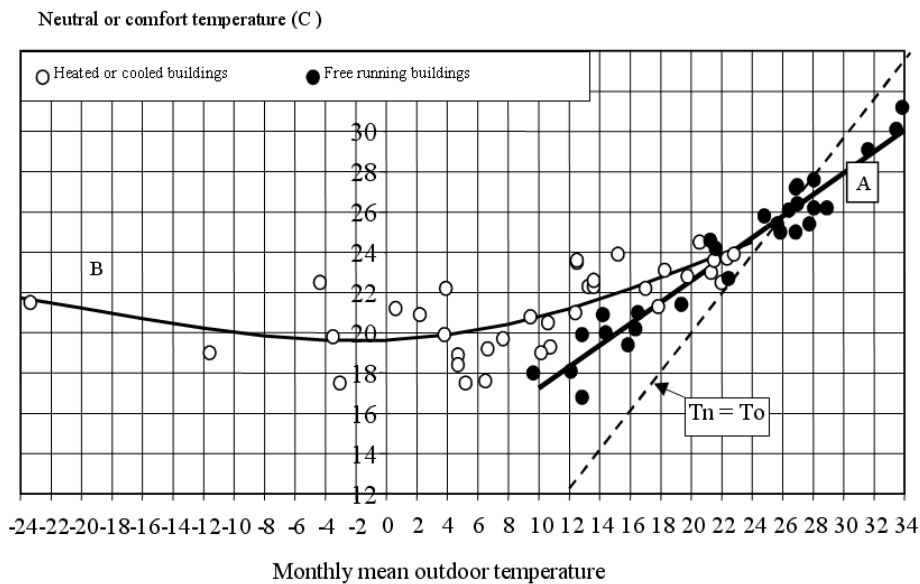


Figure 3 :
Le changement de la
température de
confort avec la
température
extérieure moyenne
mensuelle pour les
bâtiments non
climatisés et les
bâtiments climatisés,
(tire de Nicols 2003)

Les résultats du projet de recherche PASCOOL ont vérifié le principe adaptatif. Sur base des travaux précédents, le groupe Confort du projet de recherche européen PASCOOL, coordonné par N. Baker (Baker 1993, Baker et Standeven 1994), a effectué des mesures sur le terrain dans différents pays, dans le but de comprendre les mécanismes par lesquels les gens améliorent eux-mêmes leur confort lorsque les températures sont plus élevées. On a découvert que les gens se sentaient à l'aise à des températures bien plus élevées qu'on l'imaginait dans des conditions torrides. On a observé que les gens prenaient une série de mesures adaptatives pour se sentir à l'aise, entre autres en se déplaçant dans les parties plus fraîches de la pièce. On a observé 273 ajustements de la régulation du bâtiment et 62 modifications vestimentaires pendant 864 heures d'observation.

Différentes autres recherches ont vérifié l'approche du confort adaptatif. Klitsikas et al. (1995) ont mené des études sur le confort dans des immeubles de bureaux à Athènes (Grèce) durant la période estivale. Ils ont découvert que, dans presque tous les cas, la valeur PMV théorique était supérieure ou égale au vote de perception thermique mesuré et que les sujets avaient une sensation de confort plus élevée que ce que prédisait la théorie PMV. Lin Borong et al. (2003) ont mené des études sur le confort dans des bâtiments chinois à ventilation naturelle. Ils ont conclu que la sensation thermique des gens avait une plage plus large que celle ressentie dans un environnement stable. Des comparaisons établies par rapport à l'échelle PMV ont abouti à la conclusion que le modèle PMV devait être corrigé lorsqu'on l'utilisait pour évaluer la réaction des gens à des environnements thermiques instables ou naturels.

Des résultats similaires ont été observés lors d'une étude sur le confort dans des conditions torrides et arides en Israël (Becker et al., 2003), à Singapour (Hien et Tanamas 2002), en Indonésie (Feriadi 2002), en Algérie (Belayat et al. 2002) et au Bangladesh (Mallick 1994).

4 Confort thermique et vitesses de l'air

La vitesse de l'air a un effet important sur les conditions de confort dans les bâtiments. Malgré les nombreux projets de recherche consacrés à ce problème, il reste toujours un domaine ouvert de la recherche scientifique (Tanabe et Kimura 1994, Arens et al. 1984, 1986).

La vitesse de l'air a un effet à la fois sur les déperditions par convection et par évaporation, et elle détermine de ce fait les conditions de confort thermique. Les méthodes de confort stable acceptent une vitesse relativement basse de l'air intérieur. Cependant, des études récentes menées principalement dans des climats tropicaux (de Dear 1991, Mallick 1996, Hien et Tanamas 2002), confirment que l'accélération des vitesses de l'air augmente les conditions de confort thermique, surtout lorsque la température est plus élevée. Selon Kukreja (1978), la vitesse de l'air intérieure dans les climats chauds devrait être réglée sur 1.00–1.50 m/s. Hardiman (1992) propose une vitesse de l'air comprise entre 0.2 et 1.5 m/s pour une activité légère.

Des résultats similaires sont également rapportés pour la recherche en-dehors des climats tropicaux. Les résultats d'une récente recherche danoise en chambre climatique (Toffum et al. 2000) montrent que les sujets préfèrent 28°C lorsqu'on leur permet de choisir eux-mêmes la vitesse de l'air et 26°C avec une vitesse de l'air fixe de 0.2 m/sec. En analysant des résultats provenant du Pakistan, Nicol (2004) a découvert que les températures considérées comme confortables avec des ventilateurs en fonctionnement étaient supérieures de 2K à celles sans ventilateur sur une large plage de températures intérieures.

D'autres études proposent des vitesses de l'air beaucoup plus élevées. Selon ce que rapportent Hien et Tanamas (2002), on a observé des effets indésirables de mouvements importants de l'air supérieurs à 3 m/sec.

5 L'impact des normes de confort sur la consommation énergétique des bâtiments

Les analyses de différents chercheurs démontrent que l'application de normes de confort à température intérieure variable, basées sur la théorie adaptative, dans des bâtiments climatisés permettait de réaliser des économies d'énergie remarquables (Auliciems 1990, Hensen et Centrenova 2001). L'économie d'énergie escomptée dans les bâtiments européens est supérieure de plus de 18% à celle qui serait réalisée à l'aide d'une température intérieure constante, ainsi que le rapportent Stoops et al. (2000), tandis que les économies d'énergie correspondantes pour le Royaume-Uni ont été estimées aux environs de 10 % (Milne 1995, Wilkins 1995).

Parallèlement, lorsqu'on applique des normes de confort à température intérieure variable, l'utilisation de la ventilation naturelle dans les bâtiments devient beaucoup plus facile. En effet, il n'est pas nécessaire de maintenir des fourchettes de température étroites dans la mesure où les occupants ont un bon degré de contrôle, et l'on réduit ainsi la consommation énergétique consacrée au refroidissement.

Une recherche menée par Kolokotroni et al. (1996) a démontré que les bâtiments à ventilation naturelle consommaient moins de la moitié de l'énergie des bâtiments climatisés. En même temps, il est évident que la température intérieure fluctue en permanence dans les bâtiments non climatisés, si bien qu'une norme de température intérieure variable reflétant cette variabilité contribuera à économiser l'énergie en encourageant l'usage de bâtiments à ventilation naturelle.

6 Références

1. Arens E.A., Blyholder A.G. and Schiller G.E., 1984. *Predicting thermal comfort of people in naturally ventilated buildings*. ASHRAE Transactions, 90, 1B, 272-279.
2. Arens E.A. and Watanabe N.S., 1986. *A method for designing naturally ventilated buildings using bin climate data*. ASHRAE Transactions, 90, 2B, 773-792
3. ASHRAE 1992. *Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE
4. Auliciems A., 1990. Arch. Science Review, 33
5. Auliciems A. and de Dear R., 1986. *Air Conditioning in Australia I; Human thermal factors*. Architectural Science Review, 29, 67-75
6. Baker, N., 1993. Thermal comfort evaluation for passive cooling - a PASCOOL task. In: Foster, N., Scheer, H., (Eds.), *Solar Energy in Architecture and Urban Planning: Proceedings of the 3rd European Conference on Architecture, Florence, Italy*, pp. 313-319
7. Baker, N. and Standeven, M., 1994. *Thermal Comfort in free running buildings*. Proc. Conference PLEA 94, Architecture in the extremes, Israel
8. Becker, S., Potcher, O. and Yaakov, Y., 2003. *Calculated and observed human thermal sensation in an extremely hot and arid climate*. Energy and Buildings, 35, 747-756
9. Belayat, E.K, Nicol, J.F. and Wilson, M., 2002. *Thermal Comfort in Algeria. Preliminary Results of field studies*. Proc. EPIC 2002 Conference, Lyon
10. Bouden, C. and Ghrab, N., 2001. *Thermal Comfort in Tunisia, results of a one year survey*. Proc. Conf. Moving Thermal comfort standards into the 21st century, Windsor, UK, 197-206
11. Brager, G.S., de Dear R.J., 1998. Energy and Buildings 27 (1) 83-96.
12. Brager, G.S., de Dear R.J., 2000. ASHRAE Journal 42 (10) 21-28.
13. Busch, J., 1992. *A tale of two populations : thermal comfort in air conditioned and naturally ventilated offices in Thailand*. Energy and Buildings, Vol. 18, 235-249
14. de Dear, R.J., 1991. *Diurnal and seasonal variation in the human thermal climate of Singapore*. Singapore Journal of Tropical Geography 10, 13-25
15. de Dear, R.J., 1998. ASHRAE Transactions 104 (1b) 1141-1152

16. de Dear, R.J. and Brager, G.S., 1998. ASHRAE Transactions 104 (1a), 145–167
17. de Dear, R.J. and Brager G.S., 2002. *Thermal comfort in naturally ventilated buildings*. Revisions to ASHRAE Standard 55. Energy and Buildings 34 () 549–561
18. Fanger, P.O., 1972. *Thermal Comfort. Analysis and Applications*. In Environmental Engineering. Mc Graw Hill, New York
19. Feriadi, H., 2002a. *Thermal Comfort for naturally ventilated houses in Indonesia*. Int. Symposium Building Research and Sustainability of the Built Environment in the Tropics, 14-16 October, Jakarta
20. Feriadi H., 2002b. *Natural Ventilation via Courtyard for Tropical Buildings*. Int. Symposium Building Research and Sustainability of the Built Environment in the Tropics, 14-16 October, Jakarta
21. Gagge, A.P., 1973. *Rational temperature indices of man's thermal environment and their use with a 2 node model of his temperature regulation*. Fedn. Proc. Fed. Am. Soc. Exp. Biol. 32, 1572-1582
22. Gagge, A.P., Fobelets, A.P. and Berglund, L.G., 1986. *A standard predictive index of human response to the thermal environment*. ASHRAE Trans. 92, 2B, 709-731
23. Hardiman, 1992. *Utersuchung nat ürlicher Lüftungssysteme zur Verbesserung des Raumklimas von konteng ünstigen Wohnhausern auf Java/Indonesien*. Doctoral thesis, Universität Stuttgart
24. Hien, W.N. and Tanamas, J., 2002. *The effect of wind on thermal comfort in the tropical environment*. In: Proceedings of the International Symposium on Building Research and the Sustainability of Built Environment in the Tropics, Jakarta, Indonesia
25. Humphreys, M., 1975. *Field Studies of Thermal Comfort compared and applied*. J. Inst. Heat and Vent. Eng. 44, 5-27
26. Humphreys, M. A., 1976. *Field studies on thermal comfort compared and applied*. Building Services Engineer, 44, 122-129
27. Humphreys, M., 1978. *Outdoor Temperature and Comfort Indoors*. Building Research and Practice, (J. CIB), 6, 2, 92-105
28. Humphreys, M.A. and Nicol, J.F., 1998. *Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort*. ASHRAE Transactions 104 (1) pp 991-1004
29. Humphreys, M. and Nicol, J.F., 2000. *Outdoor temperature and indoor thermal comfort – raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field*. ASHRAE Transactions 206, 2, 485-492
30. Humphreys, M.A. and Nicol, J.F., 2002. *The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments*. Energy and Buildings 34(6) 667-684
31. Hensen, J.L.M. and Centnerova, L., 2001. *Energy simulations of traditional versus adaptive thermal comfort for two moderate climate regions*. . Proceedings of the conference Moving Comfort Standards into the 21st Century, 78-91
32. ISO 1994. *International Standard 7730 : Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the conditions of Thermal Comfort*. 2nd ed. ISO: Geneva
33. Jokl, M.V., 1987. *A new COMECON standard for thermal comfort within residential and civic buildings*. Indoor Air 87, Vol. 3, 457-460, Berlin
34. Klitsikas, N., Balaras, C., Argiriou, A. and Santamouris, M., 1995. *Comfort Field Studies in the frame of PASCOOL in Athens, Hellas*. Proc. Int. Workshop on Passive Cooling, M. Santamouris (ed), Athens
35. Kolokotroni, M, Kukadia, V and Perera, MDAES, 1996. *NATVENT - European project on overcoming technical barriers to low-energy natural ventilation*. Proceedings of the CIBSE/ASHRAE joint national Conference part 2 36-41 Chartered Inst. of Bldg Serv. Engrs, London
36. Kukreja, 1978. *Tropical Architecture*. McGraw-Hill, New Delhi
37. Lin Borong, Tan Ganga, Wang Peng, Song Ling, Zhu Yingxin and Zhai Guangkui, 2003. *Study on the thermal performance of the Chinese traditional vernacular dwellings in summer*. Energy and Buildings, In press
38. Madsen, T.L., 1987. *Measurement and control of thermal comfort in passive solar systems*. Proc. of the 3rd International Congress on Building Energy Management ICBEM 87
39. McCartney, K.J. and Nicol, F., 2002. *Developing an adapting comfort algorithm for Europe: results of the SCATS project*. Energy and Buildings, 34,6, 623-635
40. Mallick, F.H., 1994. *Thermal Comfort in Tropical Climates : An Investigation of Comfort Criteria for Bangladesch Subjects*. Proc. Conf. PLEA 1994, Israel

41. Mallick, F.H., 1996. *Thermal comfort and building design in the tropical climates*. Energy and Buildings 23, 161–167.
42. Matthews, J. and Nicol, J.F., 1995. *Thermal comfort of factory workers in Northern India*. Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards for the 21st century. Spon FN Publishers, London
43. Milne, G.R., 1995. *The energy implications of a climate-based indoor air temperature standard*. Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards for the 21st century. Ed. Nicol J.F., Humphreys M.A., Sykes O. and Roaf S. London, E & FN Spon
44. Nicol, J.F., 1973. *An analysis of some observations of thermal comfort in Roorkee, India and Bagdad, Iraq*. Annals of Human Biology, Vol. 1, 4, pp. 411-426
45. Nicol F., 2002. *Why International Thermal Comfort Standards don't fit tropical buildings*. Int. Symposium Building Research and Sustainability of the Built Environment in the Tropics, 14-16 October, Jakarta
46. Nicol, J.F., 2004. *Adaptive thermal comfort standards in the Hot-Humid Tropics*. Energy and Buildings 36(7) pp 628-637
47. Nicol, J.F., Humphreys, M.A., 1973. *Thermal comfort as part of a self-regulating system*. Building Research and Practice (J. CIB) 6:3, pp. 191-197.
48. Nicol et al., 1995. *Standards for thermal comfort*. Indoor Air Temperature Standards for the 21st Century. Chapman and Hall, London, p. 247.
49. Nicol, J.F. and Raja, I.A., 1995. *Time and Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings*. Proc. Int. Workshop on Passive Cooling, M. Santamouris (ed), Athens
50. Nicol, Raja, I.A., Allandin, A., Jamy, G.N., 1999. *Climatic variations in comfort temperatures: the Pakistan projects*. Energy and Buildings 30, 261-279
51. Nicol, J.F., 2003. *Thermal Comfort. State of the art and future directions*. In: Solar Thermal Technologies – The State of the art, M. Santamouris (ed), James and James Science Publishers, London, UK.
52. Nicol, F, and Roaf, S, 1994. *Pioneering new Indoor Temperature Standards - The Pakistan Project*. Proc. Conference PLEA 94, Israel
53. Parsons, K.C, Webb, L.H., McCartney, K.J., Humphreys, M.A and Nicol, J.F, 1997. *A climatic chamber study into the validity of the Fangers PMV/PPD thermal comfort index for subjects wearing different levels of clothing insulation*. In: Proc. of the CIBSE National Conference Part 1, 193-205, London
54. Rijal, H.B, Yoshida, Y. and Umeriya, N., 2002. *Investigation of the Thermal Comfort in Nepal*. Int. Symposium Building Research and Sustainability of the Built Environment in the Tropics, 14-16 October, Jakarta
55. Stoops, J., Pavlou, C., Santamouris, M. and Tsangrassoulis, A., 2000. *Report to Task 5 of the SCATS project (Estimation of Energy Saving Potential of the Adaptive Algorithm)*. European Commission
56. Taki, A.M, Ealiwa, M.A, Howarth, A.T. and Seden, M.R., 1999. *Assessing thermal comfort in Ghadames, Libya : application of the adaptive model*. Building Serv. Eng. Res. Technol. 20, 4, 205-210
57. Tanabe, S., and Kimura, K., 1994. *Effects of temperature, humidity and air movement on thermal comfort under hot and humid conditions*. ASHRAE Transactions, 100,2, 953-960
58. Toftum, A.K., Melikov, L.W., Rasmussen, A.A., Kuciel, E.A., Cinalska, A., Tynel, M., Bruzda and Fanger, P.O., 2000. *Human Response to Air Movement. Part I. Preference and Draft Discomfort*. DTU International Center for Indoor Environment and Energy, Lyngby
59. Webb, C.G., 1959. *An analysis of some observations of thermal comfort in an equatorial climate*. BJIM , Vol. 16
60. Wilkins, J., 1995. *Adaptive comfort control for conditioned buildings*. Proceedings CIBSE National Conference, Eastbourne. Part 2, 9-16. Chartered Inst. of Bldg Serv. Engrs, London

L'Air Infiltration and Ventilation Centre a été inauguré par l'Agence Internationale de l'Energie et est financé par les sept pays suivants: Belgique, Etats-Unis d'Amérique, France, Grèce, Norvège, Pays-Bas et République tchèque.

L'Air Infiltration and Ventilation Centre apporte son soutien technique à la recherche théorique et appliquée sur l'infiltration d'air et la ventilation. Il ambitionne de promouvoir la compréhension de la complexité de la circulation de l'air dans les bâtiments. Il entend également faire progresser l'application efficace de mesures d'économie d'énergie dès la conception des nouveaux bâtiments et l'amélioration du parc immobilier existant.