

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/311650878>

Modélisation du confort dans les espaces semi-ouverts

Article · October 2016

CITATIONS

0

READS

15

2 authors:



[Edouard Walther](#)

AREP

9 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)



[Mateusz Bogdan](#)

AREP

9 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)

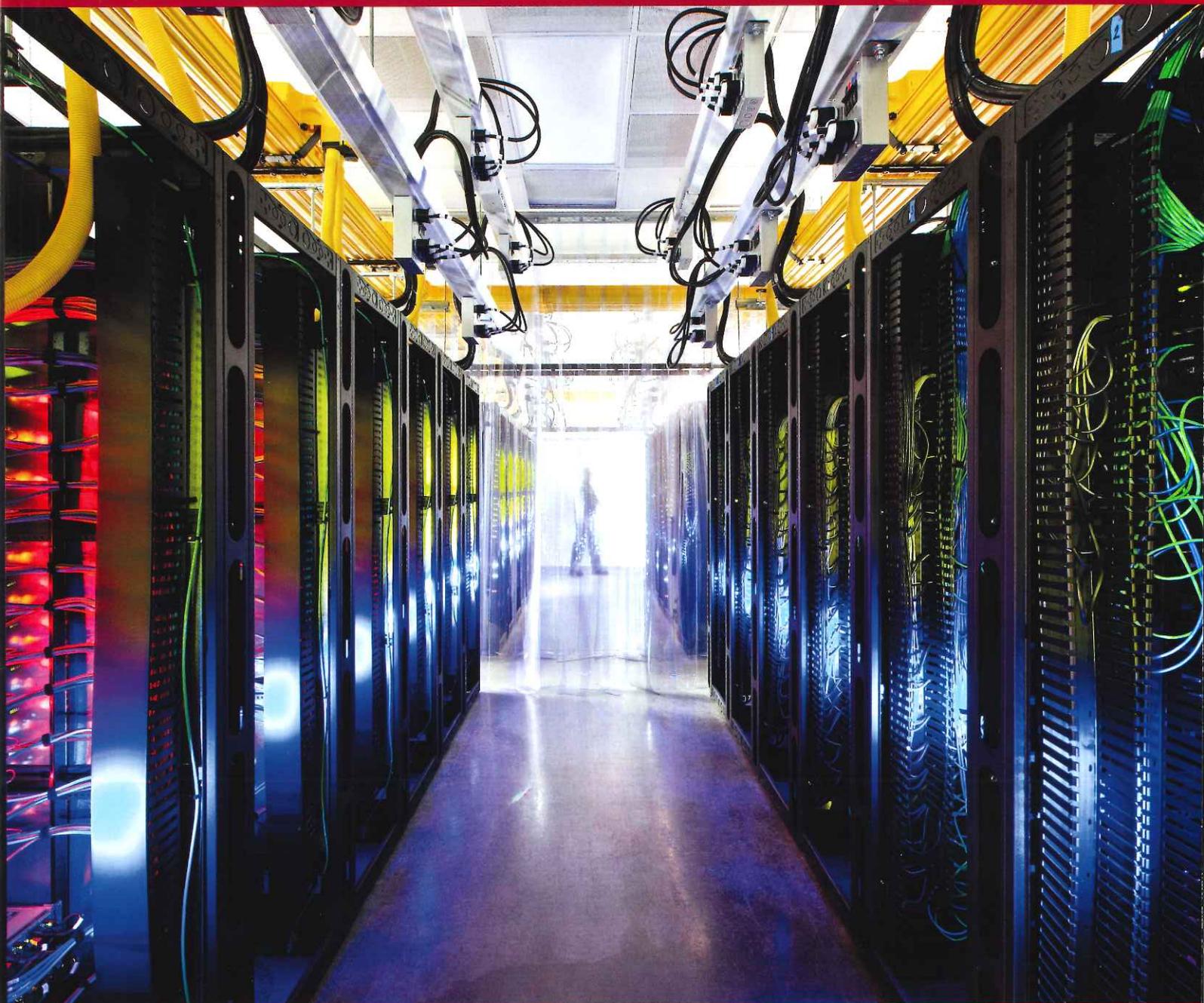
CVC

CHAUFFAGE
VENTILATION
CONDITIONNEMENT D'AIR

www.aicvf.org

LA REVUE DES CLIMATICIENS

TRIMESTRIEL · N° 893 · 30 € · OCTOBRE 2016



Association
des ingénieurs
en climatique,
ventilation et froid

TABLE RONDE
Le génie climatique
à l'heure du
numérique

DOSSIER I
Efficacité énergétique
des produits et
équipements CVC

DOSSIER II
Data centers :
la recherche de
la performance

PROFESSION

Modélisation du confort dans les espaces semi-ouverts

Si la prédiction du confort des ambiances intérieures est un sujet maîtrisé grâce à des indicateurs empiriques ou à base d'équations-bilan de l'individu, il n'en va pas de même pour les bâtiments ouverts, appelés semi-extérieurs. Les variations rapides des conditions ambiantes y requièrent une modélisation du métabolisme en régime dynamique.

L'indicateur de confort le plus répandu, le PMV de (Fanger 1970), donne une prédiction de la sensation thermique moyenne en fonction de la charge sensible et latente de l'individu dans son environnement, en y associant un pourcentage d'occupants insatisfaits (> figure 1).

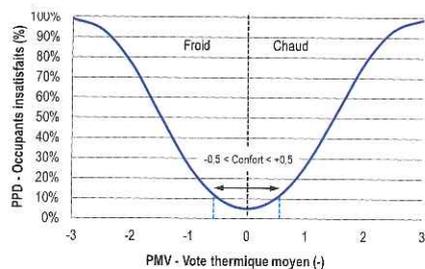


Figure 1 Relation entre PMV et PPD

Cet indicateur a été développé pour des ambiances ayant des températures de parois sensiblement égales à celle de l'air et pour des occupants dont le métabolisme est en régime permanent, c'est-à-dire des durées de séjour de l'ordre de plusieurs heures. Il n'est donc plus valable pour le cas extérieur ou semi-extérieur, notamment du fait des variations rapides des vitesses d'air, de température moyenne radiante et du caractère fortement transitoire de l'occupation de ces espaces (par exemple les gares), impliquant ainsi une simulation dynamique détaillée des transferts thermiques qui y ont lieu.

Plusieurs décennies de recherche sur les thèmes du confort et de la biologie médi-

cale ont permis de construire des modèles de prédiction du comportement thermique du corps humain en fonction des conditions extérieures et des réactions métaboliques de régulation.

Le confort en milieu semi-ouvert

L'indicateur « Standard Effective Temperature » ou « SET* » basé sur les travaux de (Nishi et Gagge 1977) puis adapté pour les milieux extérieurs et semi-extérieurs par (Pickup et de Dear 2007) est un indicateur de confort en régime transitoire construit à partir d'un modèle du métabolisme humain qui simule les réactions de thermorégulation (perspiration, sudation, tremblement, vasoconstriction ou vasodilatation) liées à l'environnement et l'activité du sujet.

Le principe de l'indicateur SET* est de convertir l'ambiance évaluée en une ambiance de référence de « bureau » : vitesse d'air faible, température moyenne radiante valant celle de l'air ambiant et humidité relative de 50%. On calcule alors la température opérative qui provoquerait les mêmes réactions physiologiques que l'ambiance de départ, à savoir la même mouillure cutanée et la même température de peau, au terme d'un temps d'exposition donné (ainsi les notions de SET* et Out_SET* sont inséparables de la durée). Cette approche méconnue est pourtant proposée comme une référence d'étude du confort par l'(ASHRAE 2013).

L'incapacité des méthodes en régime permanent à prédire correctement le niveau

Standard Effective Temperature

Diagramme psychrométrique

Echanges thermo-hyriques

Par E. Walther, M. Bogdan, chargés de Mission Confort & Simulation / AREP Pôle Ingénierie

de confort lors de variation des conditions climatiques peut être illustrée par la figure 2, qui représente l'évolution du métabolisme pour un sujet subitement exposé à un environnement estival, en partant des températures corporelles à l'équilibre. Dans ces conditions, on voit que les températures du noyau et de la peau mettent environ 30 min. à atteindre une valeur proche de celles en régime permanent (« RP » sur la figure), tandis que la régulation de la mouillure cutanée procède d'une dynamique plus longue et requiert ~100 minutes pour se stabiliser. En conditions hivernales, la durée de mise en température est encore plus importante (de l'ordre de trois à quatre heures). La détermination du confort en régime permanent conduit par conséquent à mésestimer l'inconfort lorsque les durées considérées sont infra-horaires, comme détaillé dans l'étude de (Höppe 2002).

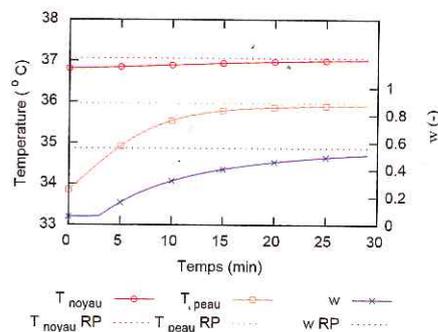


Figure 2 Modèle Out_SET*, comparaison entre régimes transitoire et permanent du métabolisme pour des conditions estivales

Ces considérations sont vraies pour le cas de la « réponse à un échelon » (tel que présenté figure 2), mais le même raisonnement reste valable pour des conditions ambiantes changeantes, notamment la vitesse d'air et le flux solaire, qui impactent de manière importante le

bilan thermique du corps humain. À titre d'exemple, un flux solaire incident de 800 W/m^2 entraîne une augmentation de 27 K de la température rayonnante perçue. Si la SET*/Out_SET* fournit un moyen d'évaluer les ambiances, elle ne donne pas directement une échelle de confort. Les travaux de (Int Hout 1990) ont cependant permis de concilier les approches PMV et SET* grâce au retour à un environnement de référence permettant le calcul du PMV. On dispose ainsi d'une quantification du niveau de confort équivalent à la SET*/Out_SET* grâce à l'approche classique du vote thermique moyen « PMV », renommé en « PMV* », que nous utilisons dans la suite.

L'influence des vitesses d'air

L'influence de la vitesse de vent sur la zone de confort est illustrée sur la figure 3 qui montre la position sur le diagramme psychrométrique de la zone de confort (soit $-0,5 < \text{PMV}^* < +0,5$) pour deux vitesses d'air. Lorsque la vitesse d'air augmente, la zone de confort se décale vers les températures élevées : la baisse de l'écart de température est compensée par une hausse des coefficients d'échange, maintenant stable le bilan thermique même à des températures plus élevées.

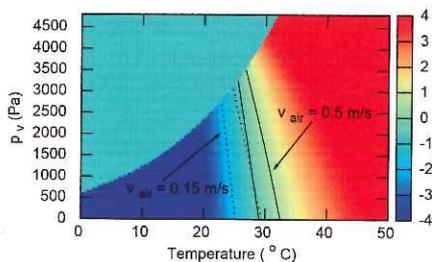


Figure 3 PMV* - Position de la zone de confort pour $v_{\text{air}} = 0,15 \text{ m/s}$ (pointillés) et $v_{\text{air}} = 0,5 \text{ m/s}$ (lignes continues)

La vêture soumise à une vitesse d'air ou au mouvement des individus est sujette aux infiltrations et éventuellement au « pompage », qui provoquent une réduction de ses caractéristiques isolantes par rapport au cas statique. La vitesse d'air a donc un impact sur les transferts thermiques et évaporatifs au travers de la vêture.

La diminution des résistances des vêtements à ces transferts en fonction de la vitesse d'air est modélisée grâce aux travaux de (Holmér, et al. 1999) et (Havenith,

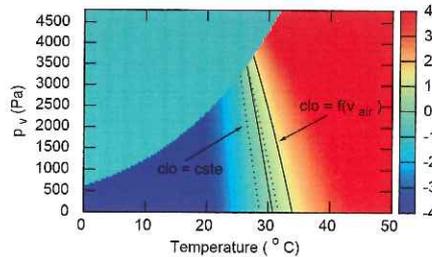


Figure 4 PMV* - Position de la zone de confort avec (ligne continue) et sans correction (pointillés) de l'isolation de vêture

et al. 1999) qui ont servi à l'élaboration de la norme ISO 9920. L'influence sur les échanges thermo-hygriques se mesure par la forte réduction des résistances au transfert : une vitesse d'air de 1 m/s entraîne une diminution de 40% de la résistance convective et de 60% de la résistance au transfert de vapeur par rapport à une ambiance calme. La figure 4 représente, à vitesse d'air égale, la position de la zone de confort sur le diagramme psychrométrique avec et sans la modification des résistances de transfert. La mise en oeuvre de ce correctif entraîne un décalage de la zone de confort vers les tempé-

ratures plus élevées, ce qui est équivalent au fait de porter des vêtements ayant un pouvoir isolant plus faible.

Conclusion

Les indicateurs classiques ne se prêtent pas à l'estimation du confort dans les espaces semi-ouverts du fait des variations brusques des conditions ambiantes et de la courte durée des séjours que les occupants y font. Il est cependant possible de qualifier le confort de manière rationnelle grâce à une modélisation fine de l'évolution du métabolisme en régime transitoire ainsi qu'à la connaissance détaillée des flux solaires incidents et des vitesses d'air. Ce dernier point représente un défi en termes de puissance de calcul. Cependant, l'évolution rapide des performances des outils et le développement de services de calcul en ligne rendent possibles ce genre d'approches. Enfin, l'histoire métabolique a également un effet non négligeable sur le ressenti du confort, comme évoqué dans (Walther et Barry 2016). ■ 45-73-811

Pour aller plus loin

- > ASHRAE. Standard 55-Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2013.
- > Fanger, P. O. Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering. Mc Graw Hill, 1970.
- > G. S. Brager, R. de Dear. « A Standard for Natural Ventilation » ASHRAE Journal Volume 42, n°10, 2000 : 21-28.
- > Havenith, G., I. Holmér, E.A. Den Hartog, and K.C. Parsons. « Clothing Evaporative Heat Resistance - Proposal for Improved Representation in Standards and Models » Ann. Occ. Hyg., 1999 : (43-5):339-346.
- > Holmér, I., H. Nilsson, G. Havenith, and K. Parsons. « Clothing Convective Heat Exchange -Proposal for Improved Prediction in Standards and Models » Annals of Occupational Hygiene, 1999 : (43)5-329-337.
- > Höpfe, J. « Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort » Energy and Buildings, 2002 : 661-665.
- > Int Hout, D. « Thermal comfort calculations / A computer model » ASHRAE Transactions, 1990 : (96)840-844.
- > Nishi, Y., and A.P. Gagge. « Effective Temperature Scale Useful for Hypo-and Hyperbaric Environments » Aviation, Space, and Environmental Medicine, 1977 : 97-107.
- > Pickup, J., and R. de Dear. « An outdoor thermal comfort index (Out_SET*) - Part I - The model and its assumptions » In Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium., 279-283. Geneva: WMO, 2007.
- > Walther, E., and R. Barry. « Réduction des incertitudes de modélisation de ventilation naturelle et prédiction du confort en espace semi-ouvert » IBPSA France. Champs-sur-Mer, 2016.