

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Température ambiante et bien-être Hutcheon, N. B.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40001050>

Digeste de la construction au Canada; no. CBD-102F, 1972-03

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=c91d51bf-ab6d-45c3-87f0-cc738e5c714d>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=c91d51bf-ab6d-45c3-87f0-cc738e5c714d>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Digeste de la construction au Canada



DIVISION DES RECHERCHES SUR LE BATIMENT • CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA

TEMPÉRATURE AMBIANTE ET BIEN-ÊTRE

par N. B. Hutcheon

UDC 536:612.59

Point n'est besoin de souligner l'importance d'étudier la température ambiante par rapport au confort qui assure le bien-être des individus. Ces questions préoccupent généralement les médecins et les ingénieurs en climatisation qui doivent concevoir un système apte à créer l'ambiance souhaitée. Elles doivent également intéresser le technicien chargé de la préparation des plans d'un bâtiment, qui influera inévitablement sur les aspects thermiques du milieu, de façon directe ou indirecte. Les propriétaires et les locataires aussi tireront profit d'une meilleure appréciation des éléments en cause, des raisons du mécontentement qui se fait parfois sentir, et des correctifs qui peuvent être apportés, le cas échéant.

La température de l'air est l'indice de confort auquel on a le plus souvent recours. Il existe, toutefois, nombre d'autres facteurs. Les aspects physiques de n'importe quel milieu ambiant sont loin d'être simples. Ils peuvent différer sensiblement d'un cas à l'autre, et même varier avec le temps. Il y a aussi la complexité de la physiologie du corps humain, sans oublier que plusieurs personnes peuvent réagir différemment aux mêmes conditions.

Il est utile de se rappeler que l'homme est un animal au sang chaud et que la température du corps doit se maintenir à l'intérieur de limites très restreintes. L'homme utilise la nourriture comme carburant, qu'il transforme en énergie. Une partie de cette énergie peut se dépenser sous forme de travail accompli; l'autre partie représente la production de chaleur à l'intérieur du corps et sert à maintenir sa température. Etant donné que le corps doit produire continuellement de la chaleur, il doit donc dépenser à un taux qui assurera l'équilibre de sa température. Pour mieux comprendre l'importance de la température ambiante, il faut donc étudier comment elle influence le corps humain qui cherche à maintenir au taux de perte de chaleur confortable. On peut

envisager le bien-être tant sous son aspect physique que physiologique, comme une condition de neutralité thermique où le corps n'a pas besoin de fournir d'efforts pour augmenter ou réduire sa perte de chaleur.

Le corps humain maintient un taux minimal de production de chaleur d'environ 250 B.T.U./h pendant le sommeil, une chaleur équivalente d'environ 75 watts, et à peu près 400 B.T.U./h (120 watts) lorsqu'il est éveillé mais au repos. A mesure que l'activité du corps augmente, le taux d'oxydation des aliments avec leur distribution d'énergie, doit augmenter. Le niveau de production de chaleur pour de légers travaux sera d'environ 650 B.T.U./h (190 watts), et la valeur extrême, pour les gros travaux, sera d'environ 2400 B.T.U./h (700 watts).

Il est possible d'identifier les principaux moyens grâce auxquels le corps perdra de la chaleur et de les relier par une simple équation:

$$H = S + E + R + C$$

où:

- H = Taux de production interne de chaleur
- S = Taux d'emmagasinement de la chaleur dans le corps
- E = Taux de perte par évaporation
- R = Taux d'échange d'énergie de rayonnement avec le milieu
- C = Taux de perte par convection

L'équation indique simplement que la production de chaleur interne doit faire équilibre aux quatre moyens d'en disposer. Le corps peut entreposer une certaine quantité de chaleur ou puiser dans cette réserve, ce qui amène des modifications de la température sur de courtes périodes de temps. Toutefois, presque toute la chaleur doit être rejetée des surfaces du corps au moyen de pertes par convection dans l'air ambiant, par échanges de

rayonnement avec les surfaces environnantes, et par l'évaporation de la sueur de la peau au besoin. Bien qu'on n'ait pas fait mention de ce facteur, il y aura perte de chaleur sous forme de vapeur d'eau et de chaleur rejetées dans l'air durant la respiration.

Involontairement, le corps fait des ajustements qui influencent ces processus en augmentant ou en réduisant le taux de perte de chaleur au besoin. Il peut tenter d'amorcer l'évaporation en sécrétant de la sueur lorsqu'il fait trop chaud. Il peut tenter de faire varier les pertes par radiation et convection en augmentant ou réduisant la circulation périphérique du sang, ce qui élève ou abaisse la température de la peau. L'efficacité de ces mesures dépend de la température, du degré hygrométrique et du déplacement de l'air, de même que de la température des surfaces environnantes. La quantité de vêtements devient également un facteur important puisqu'ils s'interposent entre la peau et l'influence du milieu ambiant, et entrent en jeu dans les pertes par rayonnement, évaporation et convection pour les parties couvertes du corps.

On peut maintenant décrire les effets des facteurs ambiants pertinents. Une augmentation de la température de l'air a tendance à réduire les pertes par rayonnement et convection et à augmenter les pertes par évaporation lorsque le corps transpire. Si la température de l'air s'élève au-dessus de la température superficielle des vêtements ou de la peau, il y aura un gain de chaleur plutôt qu'une perte par convection, et ceci doit être contrebalancé par un accroissement des pertes par d'autres moyens.

La transpiration et la respiration, deux composants de la perte par évaporation dépendent du taux réel d'évaporation de l'eau. Ceci dépend à son tour du degré de saturation de l'air, qui peut se mesurer en fonction de l'humidité relative. Ainsi, il n'y a pas de perte par évaporation lorsque l'air est saturé à 98% peu importe le taux de transpiration, à moins que la température du corps ne s'élève au-dessus de la normale. D'autre part, dans des conditions de confort, lorsque le corps se livre à une légère activité, la perte principale par évaporation est celle qui est causée par les poumons, avec peu ou pas d'apport de la transpiration, du moins jusqu'à ce que les limites supérieures de confort ne soient atteintes.

Un échange net de chaleur s'effectue par rayonnement entre deux surfaces quelconques lorsqu'il y a un écart de température entre elles. L'été, le mur extérieur et les parois vitrées d'une pièce peuvent être beaucoup plus chauds que la température de l'air, tandis qu'en hiver la situation inverse peut se produire. Ainsi, l'échange net par rayonnement entre le corps et les surfaces du milieu environnant peut varier indépendamment des pertes par convection.

Le déplacement de l'air est un autre facteur qui peut avoir un effet marqué. Une augmentation de

la vitesse de l'air sur le corps et les vêtements peut augmenter les pertes par convection, et lorsqu'il y a transpiration, les pertes par évaporation aussi. Par conséquent, dans les cas où la température est élevée et l'humidité très forte, on peut souvent réduire sensiblement la sensation d'inconfort en augmentant la vitesse d'écoulement de l'air. Il est assez intéressant de noter que dans ces conditions, même les hautes vitesses de l'air peuvent être agréables. Lorsqu'il fait plus froid toutefois, même une petite circulation d'air localisée peut susciter des plaintes à propos des courants d'air.

Indice de confort et température effective

La température de l'air ambiant seule n'est pas le seul déterminant de l'influence thermique des conditions d'un local, et l'on ne devrait pas s'attendre à ce qu'elle corresponde de la même façon aux sensations thermiques de bien-être sous toutes les conditions climatiques. Les autres facteurs étudiés peuvent également influencer les pertes de chaleur du corps humain. On a tenté, à diverses reprises, de produire un seul indice qui décrirait convenablement quelques-unes ou toutes les conditions pertinentes, de façon à ce que toutes les situations décrites par la même valeur d'indice apportent le même confort.

L'indice de confort le plus généralement connu et utilisé sur le continent nord-américain a été mis au point il y a plusieurs années, par l'American Society of Heating and Ventilating Engineers. Il tenait compte, dans son essence, de la température de l'air ambiant, de l'humidité relative et du déplacement d'air seulement. On n'a pas fait intervenir les effets du rayonnement, en supposant que toutes les surfaces environnantes sont à la température de l'air ambiant. Des corrélations ont été obtenues à partir des réactions d'un grand nombre de sujets, qui allaient et venaient des locaux d'essais maintenus à des conditions légèrement différentes. On a demandé à ces personnes de comparer leurs sensations de chaleur. Les conditions qui produisaient les mêmes sensations thermiques de confort ont reçu la même valeur, ceci étant considéré comme la température de l'air à 100 p. 100 d'humidité relative qui produisait la même sensation. L'indice ainsi obtenu a été appelé la température effective, et dans la compilation finale du Tableau de Confort bien connu, seules les valeurs pertinentes à un déplacement d'air moyen ou normal de 15 à 25 pieds par minute, qu'on retrouve généralement dans les pièces, ont été utilisées. Donc, la température effective qui est communément utilisée tient seulement compte de la température de l'air et de l'humidité relative.

On a trouvé que l'humidité relative a une influence très nette sur l'indice de confort. En été, la température effective qui assurait le confort de 97 p. 100 des sujets était de 71 degrés, ce qui correspond à des conditions de 82 degrés, à 10 p. 100, 76 degrés à 50 p. 100 et 71 degrés à 100 p.

100 d'humidité relative. L'hiver, cette température effective était d'environ 68 degrés, ce qu'on pouvait obtenir avec 78 degrés à 10 p. 100, et 72 degrés à 50 p. 100 d'humidité relative.

Des études plus poussées effectuées à une date ultérieure sur un plus petit groupe de sujets n'ont pas montré l'influence de l'humidité relative sur les sensations thermiques de confort, lorsque la personne se livre à de légères activités, et sur une exposition prolongée aux mêmes conditions, pour des températures et des humidités égales ou inférieures à celles qui assurent le bien-être. Une température de 77 degrés au thermomètre sec était estimée comme procurant le bien-être, et l'on a trouvé que l'humidité relative n'influence pas celui-ci en bas de 70 p. 100. Au-dessus de 70 p. 100, il y avait une certaine influence qui augmentait au fur et à mesure que l'humidité croissait. A 71 degrés, ce qui était considéré comme temps frais, on n'a trouvé aucun effet de l'humidité relative en bas de 90 p. 100, la valeur supérieure pour les essais. A 82 degrés, c'était considéré comme temps légèrement chaud. L'effet de l'humidité relative se faisait sentir à 50 p. 100 et augmentait pour les valeurs supérieures à celle-là. La température correspondante pour le même bien-être à 90 p. 100 était de 79 degrés.

Bien qu'il n'y ait pas de raison en ce qui a trait au confort optimal de choisir une humidité relative plutôt qu'une autre, sur une gamme assez étendue, on conseille de choisir de plus faibles humidités relatives en été. On a souligné que lorsqu'il y a des occupants, dans une salle de danse par exemple, qui se livrent à une série d'activités allant de la position assise à la danse effrénée, le meilleur compromis pour assurer le bien-être de tous serait de maintenir les humidités relatives à de faibles valeurs, permettant ainsi aux personnes actives d'éliminer plus facilement la chaleur du corps par évaporation, sans nuire au confort des personnes au repos.

Effets du rayonnement

On a déjà mentionné le rôle des effets du rayonnement. Ils naissent généralement du milieu physique environnant et ne dépendent pas directement du système de conditionnement de l'air. Ainsi, ils peuvent introduire une limite très définie sur la possibilité du système à assurer un confort uniforme.

Prenons un cas bien simple d'un objet chauffé semblable au corps humain qui se trouve au centre d'un local où toutes les surfaces intérieures sont à la même température que l'air. Si la température des surfaces du local est abaissée d'un degré sans changement de la température de l'air, il y aura une augmentation de la perte nette de chaleur par rayonnement du corps. L'équilibre de la chaleur du corps peut être maintenu comme avant si la température de l'air est maintenant élevée, résultant d'une réduction compensatrice de la perte de chaleur par convection. On peut

considérer que l'augmentation nécessaire de la température de l'air pour ces conditions est à peu près égale au changement de la température des surfaces du local, c'est-à-dire, 1 degré.

Le cas qu'on vient de considérer est grandement simplifié mais sert quand même à illustrer que l'équilibre thermique peut être maintenu si la température de l'air est réglée de façon à compenser le changement de température des surfaces intérieures. Réciproquement, des équilibres thermiques constants ne peuvent être maintenus sous des effets de rayonnement différents, à moins que l'échange de chaleur par convection ne soit ajusté convenablement. Cela peut se faire en réglant la température comme il a déjà été indiqué, mais peut aussi se faire à l'intérieur des limites en réglant la vitesse de l'air près du corps.

Des cas concrets où il y a des personnes en jeu peuvent devenir beaucoup plus complexes, toutefois, quant aux effets de convection et de rayonnement. Les surfaces intérieures de locaux occupés seront rarement toutes à une seule et même température. De plus, il peut y avoir concentration de sources de rayonnement, comprenant les lumières, les radiateurs et les chaufferettes de tous genres. Les rayons directs du soleil procurent des effets de rayonnement intenses, y compris le rayonnement d'ondes courtes. La température des surfaces vitrées ou des stores, chauffés par le soleil peut excéder jusqu'à 30°F celle de l'air; ceux-ci constituent des émetteurs importants de rayons à grande longueur d'onde. De même, la température des parois vitrées en hiver peut être de 30°F inférieur à la température ambiante de la pièce. Toutes les parois extérieures dépendent aussi, mais à un degré moindre, de leurs caractéristiques de transmission de la chaleur, et auront vraisemblablement une température supérieure à la température de l'air en été, et inférieure à celle-ci en hiver.

La température des murs intérieurs, des planchers et des plafonds qui ne sont pas exposés à l'air extérieur ne variera que d'un degré ou deux de la température de l'air, et ils échangeront leur énergie par rayonnement avec les murs extérieurs et les fenêtres chauffés ou refroidis et tout corps chaud ou froid qui se trouve dans la pièce. Lorsque les surfaces qui délimitent un espace ont des températures différentes, le calcul des échanges par rayonnement avec un objet dans l'espace circonscrit peut devenir assez compliqué. Il ne suffit pas de calculer la température superficielle moyenne de l'espace enfermé, bien que ceci donne une première approximation, étant donné que l'échange par rayonnement dépend des surfaces et de la position relative des surfaces considérées. Ainsi, l'échange par rayonnement avec un corps peut varier, dépendant de sa position dans la pièce, lorsqu'il y a déséquilibre du rayonnement. Le concept de la température de rayonnement moyenne est utile; c'est la température superficielle uniforme que produirait la même intensité de rayonnement qui se produit dans les conditions réelles.

Lorsque la température radiante moyenne est variable à travers un espace, il ne sera pas possible de compenser exactement cela en réglant la température de la pièce. Ceci demanderait que la pièce soit maintenue à des températures d'air différentes mais contrôlées. Les murs extérieurs pourvus de grandes fenêtres panoramiques peuvent avoir des températures radiantes moyennes qui diffèrent de plusieurs degrés de la température de l'air aux endroits près des murs extérieurs, alors que les variations à des endroits plus reculés peuvent être d'un degré ou moins. On pourrait obtenir d'assez bons résultats en ayant recours au rayonnement de compensation, de sorte que les surfaces froides seraient équilibrées par des panneaux chauffants et réciproquement. Ceci est rarement fait intentionnellement et le bon vieux radiateur placé sous la fenêtre, bien qu'avantageux de cette façon, a été rejeté en faveur des convecteurs.

Une étude des propriétés physiques du milieu thermique sert surtout à identifier et à faire comprendre les facteurs externes qui influenceront l'équilibre de la chaleur du corps. La réaction physiologique aux diverses conditions ouvre un plus grand champ à la recherche, mais cette recherche doit s'effectuer sur des personnes. Il reste beaucoup d'étude à faire malgré les nombreux essais qui ont déjà été effectués. On peut se servir de mesures objectives. Mais l'évaluation du confort doit en définitive être liée aux réactions subjectives des individus, et il est nécessaire de faire des expériences où des personnes servent d'instrument de mesure.

De nombreuses expériences avec des personnes ont été requises pour établir le graphique de confort ASHRAE déjà décrit. Plusieurs autres expériences ont été effectuées depuis, et il reste encore beaucoup à faire dans ce sens, pour établir des rapports surs, même dans des domaines limités

comme les conditions de confort pour les personnes qui se livrent à de légers travaux ou des personnes au repos dans des habitations climatisées.

Une norme pour les conditions de confort thermique portant le numéro 55-66 a été établie et publiée par l'ASHRAE. Les situations limitées étudiées par la norme nous rappelle bien l'extrême difficulté du sujet et les réserves relatives à son application mérite une attention spéciale. C'est la seule norme disponible sur le sujet; elle sert de point de départ pour spécifier ou évaluer les conditions de confort thermique, dans les limites établies. Elle traite en particulier des effets de différentes conditions de rayonnement dont le graphique de confort basé sur les températures effectives ne tient pas compte.

Des ajustements équivalents à une variation de plusieurs degrés dans la température de l'air peuvent être nécessaires pour des endroits d'un local près d'une grande fenêtre ou d'une paroi murale chaude ou froide. Cette norme ne tient pas compte de l'influence de l'humidité relative, dans des limites normales, sur le confort thermique, alors qu'elle établit une limite supérieure de 60 p. 100 pour des locaux climatisés occupés.

Le lecteur qui désire avoir plus d'informations sur les conditions traitées par la norme et sur les situations dans lesquelles les effets du milieu thermique, autre que le confort, ont une certaine importance, devra se référer tout d'abord aux chapitres de la publication de ASHRAE, *Handbook of Fundamentals*, qui traitent du sujet. Il trouvera aussi une étude du confort en rapport avec le conditionnement de l'air dans le NRC 8625 *Air Conditioning and Comfort*, d'où sont extraites certaines parties du présent digeste. Le NRC 5514, *Man and His Thermal Environment* contient également une bibliographie annotée de la documentation sur le sujet jusqu'à 1960.

Les Digestes de la construction au Canada sont publiés chaque mois par la Division des recherches sur le bâtiment du Conseil national de recherches du Canada. Chaque Digeste traite d'un sujet relatif à un aspect de recherches sur le bâtiment et est publié pour renseigner ceux qui sont intéressés à l'aspect technique et relatif aux bâtiments.

Les Digestes portant les numéros de 1 à 100 sont seulement disponibles sous forme de livre à couvert mou et peuvent être obtenus au coût de \$2.00. On peut obtenir jusqu'à 25 exemplaires de divers Digestes gratuitement. Les commandes excédant 25 exemplaires seront remplies sous forme de volume relié au coût mentionné ci-haut. Les commandes pour plusieurs exemplaires de tous les Digestes seront considérées selon la disponibilité de l'inventaire.

Les exemplaires de Digestes portant les numéros 101 et les autres publiés subséquemment peuvent être obtenus sans frais en écrivant à la Section des publications, Division des recherches sur le bâtiment, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, Ontario, K1A 0R6.

Les cahiers à feuilles mobiles pour les Digestes courants peuvent être commandés au coût de \$2.00 chacun. Leur dimension est de 10 par 7½ et sont fabriqués de vinyle blanc ayant trois poteaux d'attache.