

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 113 (1987)
Heft: 19

Artikel: La fenêtre et le confort thermique
Autor: Püntener, Toni W. / Frank, Thomas / Huber, Rudolf
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-76425>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

La fenêtre et le confort thermique

par Toni W. Püntener et Thomas Frank, Dübendorf, et Rudolf Huber, Berne

Du point de vue de l'isolation thermique, les fenêtres représentent un point faible dans l'enveloppe du bâtiment. Elles ont donc une influence déterminante sur le confort thermique. Nous présentons ici des critères de jugement du confort thermique hivernal et estival. Nous montrons également dans quelles conditions il est nécessaire de prévoir des corps de chauffe disposés juste en dessous des fenêtres, afin d'assurer le confort à leur proximité.

Introduction

La température des vitrages influence de façon déterminante le confort dans une pièce. Il est donc nécessaire de développer des critères permettant d'évaluer le confort, dans la pratique.

Jusqu'à maintenant, la mesure technique la plus employée consistait à disposer les corps de chauffe en dessous des fenêtres. Cette mesure permet d'assurer un certain confort à proximité des fenêtres et également d'éviter des dommages dus à la condensation. Cependant, il serait intéressant du point de vue de la consommation énergétique de pouvoir renoncer à cette disposition. Pour cela, la surface des fenêtres ainsi que leur coefficient de transmission thermique k doivent satisfaire à certaines conditions, permettant ainsi de placer les corps de chauffe à un autre endroit de la pièce. Les moyens nécessaires pour répondre à cette question complexe ont été développés dans le cadre du projet NEFF 266 [3]¹.

Confort thermique

Le «confort» est une notion subjective. Afin de la quantifier, nous devons donc utiliser des méthodes statistiques. Nous nous fondons pour cela sur l'estimation moyenne du climat de la pièce tel qu'il est ressenti par un grand nombre de personnes. Cette estimation est représentée par le «vote moyen prévisible» (PMV = predicted mean vote), défini sur une échelle allant de -3 (très froid) à +3 (très chaud) en passant par 0 (neutre, confort thermique maximal).

De la notion statistique et subjective du confort découle le fait qu'il n'existe aucun état thermique dans lequel toutes les personnes soient satisfaites. La proportion de personnes non satisfaites (PPD = predicted percentage of dissatisfied) dépend du PMV: plus ce dernier s'écarte de 0, plus le PPD est élevé. Le tableau 1 montre la relation expérimentale entre le PPD et le PMV. Les diverses grandeurs servant à caractériser le confort figurent dans la norme ISO 7730, «Moderate Thermal Environments» [1], fondée notamment sur les travaux approfondis de P. O. Fanger [2].

¹Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

A l'aide de méthodes statistiques, il est donc possible de traduire la perception subjective du confort en grandeurs mesurables, relatives aux échanges de chaleur et d'humidité entre le corps humain et son environnement. Ces grandeurs sont les suivantes:

- production de chaleur par le corps, en fonction de l'activité (chaleur sensible et chaleur latente)
- conduction thermique de l'habillement
- température de l'air ambiant
- température moyenne de radiation
- rayonnement de courte longueur d'onde absorbé par le corps (par exemple rayonnement solaire incident)
- vitesse de l'air ambiant
- humidité relative de l'air ambiant.

De plus, la vitesse de l'air et l'asymétrie de rayonnement (différence entre les températures de rayonnement de la partie la plus chaude et de la partie la plus froide de la pièce) ne doivent pas dépasser certaines limites. Le tableau 2 donne les conditions de confort thermique d'après la norme ISO 7730, durant la période de chauffage ainsi que pendant l'été.

Afin de faciliter les calculs du PMV et du PPD, un programme Basic a été développé dans le cadre du projet NEFF 266 [3]. D'autres programmes existent, par exemple celui développé par le GRES [5],

Zusammenfassung

Fenster stellen bezüglich Wärmedämmung eine Schwachstelle der Gebäudehülle dar und beeinflussen deshalb in starkem Maße den thermischen Komfort in einem Raum. Es werden Kriterien erläutert, nach welchen der Komfort im Winter und Sommer zu beurteilen ist. Eine Beurteilung der Notwendigkeit einer Heizkörperanordnung unter der Fensterfläche zur Gewährleistung der Behaglichkeit in Fensternähe wird vorgenommen.

qui permet de représenter des histogrammes de PMV et de PPD sur une période donnée, à partir d'un fichier de données horaires.

Influence de la fenêtre sur le confort thermique

La fenêtre a une influence sur plusieurs grandeurs qui déterminent le confort thermique.

1. Température moyenne de radiation et asymétrie de rayonnement

La température moyenne de radiation est influencée par la température de la surface intérieure du vitrage, ainsi que par le facteur géométrique dépendant de la surface de la fenêtre et de la situation du point d'observation par rapport à la fenêtre. Le tableau 3 montre dans plusieurs cas particuliers la température de surface du vitrage, pour un verre normal et un verre sélectif.

En hiver, les vitrages sélectifs ont l'avantage de présenter des températures de surface proches de la température de l'air intérieur, et cela même si le rayonnement solaire est assez faible (ciel ouvert). En été par contre, l'élévation exagérée de la température de surface lors d'ensoleillement élevé n'est pas souhaitable. C'est pourquoi une protection solaire efficace, fixe ou mobile, est indispensable.

TABLEAU 1. — PMV et PPD.

Vote	PMV (vote moyen prévisible)	PPD [%] (proportion de personnes non satisfaites)
très chaud	+3	99
chaud	+2	75
légèrement chaud	+1	25
neutre	0	5
légèrement froid	-1	25
froid	-2	75
très froid	-3	99

TABLEAU 2. — Conditions de confort d'après la norme ISO 7730.

	Hiver	Eté
PMV	-0,5 . . +0,5	-0,5 . . +0,5
PPD	< 10 %	< 10 %
Vitesse de l'air	< 0,15 m/s	< 0,25 m/s
Asymétrie de rayonnement	< 10 K	< 23 K

2. Rayonnement solaire incident

Le rayonnement solaire direct ou indirect absorbé par la surface du corps entraîne une élévation de la température moyenne de radiation effective. En hiver, des températures de surface des vitrages trop basses sont ainsi compensées et ne provoquent alors pas une diminution du confort.

3. Vitesse de l'air ambiant

Les courants de convection d'air sont provoqués par des différences de température entre l'air ambiant et des surfaces adjacentes. Le confort thermique est surtout influencé par des surfaces plus froides que l'air ambiant, provoquant des courants froids. Ces courants sont déterminés à la fois par la différence de température entre la surface considérée et l'air, et par la hauteur de la surface froide. La figure 1 représente la vitesse maximale du courant d'air V_{\max} , en fonction de la différence de température ΔT et de la hauteur de la fenêtre x .

Les masses d'air froid ainsi mises en mouvement ont une influence sur la vitesse de l'air dans la pièce et peuvent donc contribuer à l'abaissement du confort. Des méthodes de calcul plus précises figurent dans le rapport NEFF 225 [4].

4. Humidité de l'air ambiant

L'humidité a une influence relativement faible sur le confort thermique. Du point de vue physiologique, l'humidité peut être comprise dans les limites de 35 à 60%. Par contre, le risque de condensation restreint cette marge. Pour les fenêtres sélectives, la condensation constitue un point critique, spécialement sur le pourtour du vitrage. Lors de conditions de températures extérieures extrêmes, la formation d'eau de condensation sur le pourtour du vitrage peut toutefois être considérée comme normale.

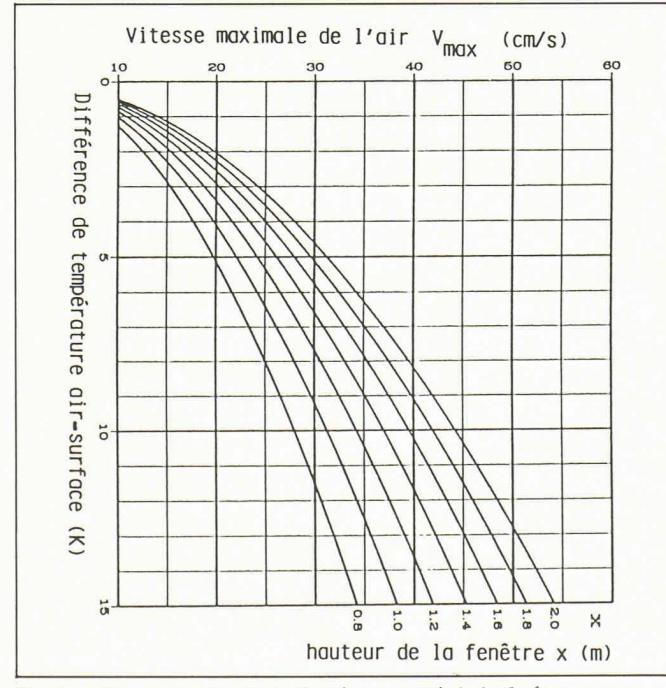


Fig. 1. — Vitesse maximale de l'air à proximité de la fenêtre.

TABLEAU 3. — Température de la surface intérieure du vitrage, pour diverses conditions climatiques (température de l'air extérieur: 20°C en hiver, 26°C en été).

Type de vitrage	Température extérieure [°C]	Rayonnement solaire incident [W/m²]		
		0	100	400
Vitrage isolant double (2 verres de 4 mm séparés par 12 mm d'air)	-5 (hiver)	11,2	11,8	13,7
	5 (hiver)	14,6	15,2	17,1
	20 (été)	23,7	24,4	26,3
	30 (été)	27,5	28,2	30,1
Vitrage isolant double sélectif (2 verres de 4 mm séparés par 16 mm d'air)	-5 (hiver)	14,4	17,0	24,7
	5 (hiver)	16,5	19,5	27,4
	20 (été)	24,7	27,4	35,6
	30 (été)	26,9	29,6	37,8

Critères de confort thermique

Lors de l'estimation du confort thermique, on doit considérer la fréquence d'apparition d'un climat donné, ainsi que l'utilisation de la pièce. Il n'y a en effet pas de sens à exiger les mêmes conditions de confort dans le cas d'une température extrême et apparaissant très rarement, que dans celui d'une situation bien plus fréquente.

Fenêtres sans radiateur

Dans le cas de vitrages normaux, les courants d'air froid et le rayonnement des surfaces froides rendent nécessaire la disposition des corps de chauffe en dessous des fenêtres, afin d'assurer des conditions de confort correctes à proximité des fenêtres. Le corps de chauffe compense par son rayonnement l'effet de la surface froide, et le courant chaud qu'il produit freine le courant froid en provenance de la surface vitrée. Les courants d'air qui ont lieu à proximité de la fenêtre réduisent simultanément le danger de condensation. Cependant, le corps de chauffe se trouve placé ainsi à un point faible de l'enveloppe du bâtiment du point de vue thermique, ce qui augmente les pertes de chaleur vers l'extérieur.

Dans le cas de bâtiments bien isolés, les gains internes (éclairage, personnes, appareils) et solaires suffisent parfois à couvrir les pertes. Dans ce cas, les corps de chauffe ne délivrent plus de chaleur (pour autant que le chauffage est bien réglé) et il n'y a plus d'effet de compensation. On peut alors se demander s'il n'est pas possible en général de disposer les corps de chauffe ailleurs que sous les fenêtres. Les conditions auxquelles doivent alors satisfaire les fenêtres (surface et coefficient de transmission thermique k) ont été mises en évidence dans le cadre du projet NEFF 266 [3]. Deux problèmes sont à relever notamment.

Le premier de ces problèmes est celui de l'influence de la surface de la fenêtre et de son coefficient de transmission thermique sur la température moyenne de radiation. D'après le tableau 2, la température moyenne de radiation doit dépasser 18,5°C, si la température de l'air vaut

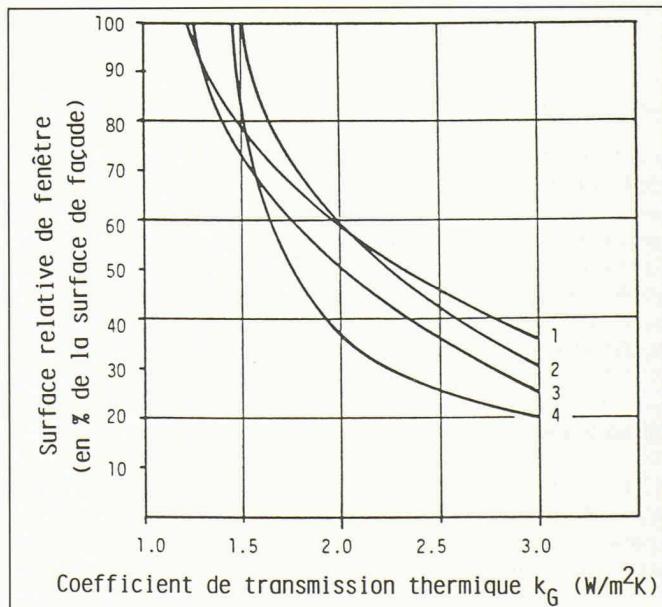


Fig. 2. — Proportion maximale de surface vitrée, pour une température extérieure de -10°C, en fonction du coefficient de transmission thermique k des fenêtres.

Courbe 1 : fenêtre avec contre-cœur

Courbe 2 : SIA 384/2, pièce avec 1 mur extérieur

Courbe 3 : SIA 384/2, pièce avec 2 murs extérieurs

Courbe 4 : fenêtre sans contre-cœur.

Bibliographie

- [1] ISO Standard 7730 «Moderate thermal environments – Determination of the PMV- and PPD-indices and specifications of the conditions for thermal comfort», 1984.
- [2] FANGER, P. O.: *Thermal Comfort*, Krieger Publishing Company, 1982.
- [3] Rapport final NEFF 266 «Oberflächentemperaturen von besonnten Fensterglasscheiben und ihre Auswirkungen auf Raumklima und Komfort», EMPA, Dübendorf, 1986.
- [4] Rapport final NEFF 225 «Der Einfluss von hochisolierenden Fenster- und Fassadensystemen auf Raumklima und Energiebedarf», GRES/EPFL et Geilinger-Winterthur, 1985.
- [5] ALDER, K.; ERIKSSON, C.: «Comfort-summarized description of the program», GRES/EPFL, 1983.

20°C, pour assurer un confort thermique hivernal acceptable. La figure 2 donne la surface maximale de fenêtre, en fonction de son coefficient de transmission thermique, dans quatre situations différentes fondées sur les conditions de climat de la recommandation SIA 384/2.

Le problème des courants d'air froids quant à lui entraîne les conditions les plus restrictives. La figure 3 indique la hauteur maximale de la fenêtre H_{max} , en fonction de son coefficient de transmission thermique, pour diverses températures extérieures T_{ext} .

Lorsque ces deux conditions, relatives à la grandeur de la fenêtre et à son coefficient de transmission thermique, sont vérifiées, il est alors possible de renoncer aux corps de chauffe sous la fenêtre, sans diminution du confort. Dans la pratique, cela entraîne en général la nécessité

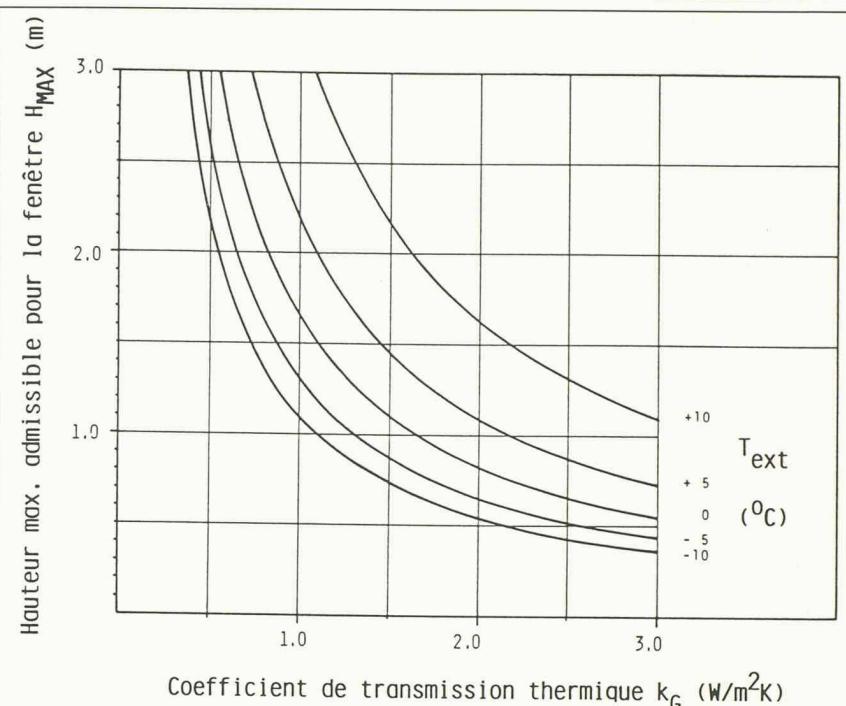


Fig. 3. – Hauteur maximale des fenêtres H_{max} telle que la vitesse de l'air à proximité de la fenêtre soit inférieure à 0,2 m/s, en fonction du coefficient de transmission thermique k des fenêtres.

d'utiliser des vitrages sélectifs. A l'aide de films de polyester recouverts d'une couche à faible émissivité dans l'infrarouge, il est actuellement possible de fabriquer des fenêtres dont le coefficient de transmission thermique k atteint 0,6 [W/m² K] (par exemple fenêtres HIT [4]). Les exigences et le rôle d'un système de chauffage ou de ventilation peuvent alors être redéfinis conformément à de nouveaux critères énergétiques, grâce à la suppression du point faible que consti-

tuaient, du point de vue thermique, la fenêtre dans l'enveloppe du bâtiment.

Adresse des auteurs:

Toni W. Püntener, ing. dipl. HLK
Thomas Frank, ing. dipl. EPFZ
LFEM – Groupe de physique
du bâtiment
8600 Dübendorf
Rudolf Huber, ing. ETH
Institut für Bau und Energie
3000 Berne

Développement de systèmes de fenêtres

par Niklaus Kohler, Lausanne

Le développement de nouvelles fenêtres est loin d'être terminé. Dans le domaine de la fenêtre traditionnelle, il subsiste des possibilités d'amélioration, par le choix de vitrages encore plus performants, de cadres appropriés et de raccords soignés au gros œuvre. A moyen terme, de véritables systèmes de vitrages s'imposeront dans les immeubles administratifs, scolaires, hospitaliers et industriels. Actuellement, ce développement se heurte surtout au manque de connaissances et d'expérience au niveau de la planification. A plus long terme, il sera marqué par de nouveaux matériaux.

Situation actuelle

L'étude sur la répartition des différents types de vitrages et de matériaux de cadres, entreprise au début du projet AIE, a montré les résultats suivants:

- Le marché suisse des fenêtres porte actuellement sur environ 750000 unités par an (soit 1,8 million de mètres carrés). Environ 30% de ces fenêtres sont utilisées dans le secteur de la rénovation.
- Pour les cadres, le bois est le matériau

dominant, surtout dans le secteur de l'habitat. La part du plastique augmente, avant tout dans le secteur de la rénovation. Les fenêtres en métal sont utilisées presque exclusivement dans les immeubles administratifs et industriels.

- Le vitrage isolant double domine encore le marché, les verres simples n'étant presque plus utilisés. Les vitrages isolants triples et les vitrages de protection thermique sont en concurrence; actuellement, ce sont encore les vitrages isolants triples qui dominent.

Zusammenfassung

Die Entwicklung von energetisch hochwertigen Fenstern ist noch nicht abgeschlossen. Im Bereich des traditionellen Fensters bestehen noch beträchtliche Verbesserungsmöglichkeiten durch bessere Gläser, bessere Rahmen und sorgfältige Ausgestaltung der Anschlüsse. Mittelfristig werden sich sogenannte Fenstersysteme bei Verwaltungs-, Schul-, Industrie- und Spitalbauten durchsetzen, wobei es zur Zeit vor allem noch am planerischen Know-How fehlt. Langfristig werden neue Baustoffe die Entwicklung bestimmen.

Les principales tendances du développement

Les multiples tendances des développements actuels peuvent être regroupées comme suit:

a) Durabilité et aspect

La concurrence entre les fenêtres en bois et celles en plastique est axée sur le problème de l'entretien. C'est pourquoi de nombreuses tentatives sont faites en vue d'améliorer la durabilité du bois, notamment par l'utilisation de bois lamellés collés ou par l'amélioration des systèmes