

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

**Artikel:** Développement de systèmes de fenêtres  
**Autor:** Kohler, Niklaus  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76426>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

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

## 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

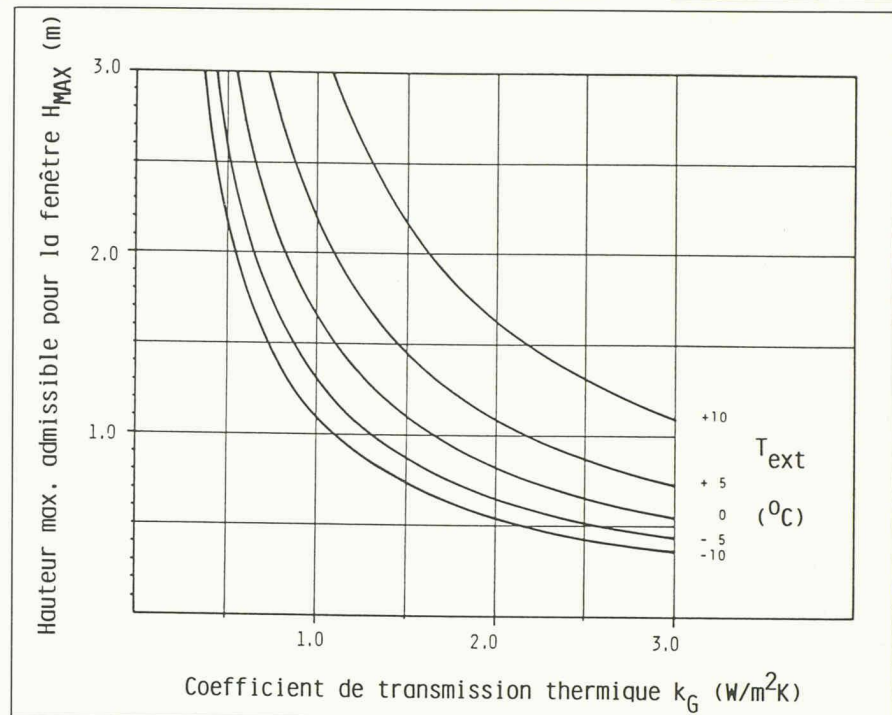


Fig. 3. — Hauteur maximale des fenêtres  $H_{max}$  telle que la vitesse de l'air à proximité de la fenêtre soit inférieure à 0,2 m/s, en fonction du coefficient de transmission thermique  $k$  des fenêtres.

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 [ $W/m^2 K$ ] (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-

tuait, 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

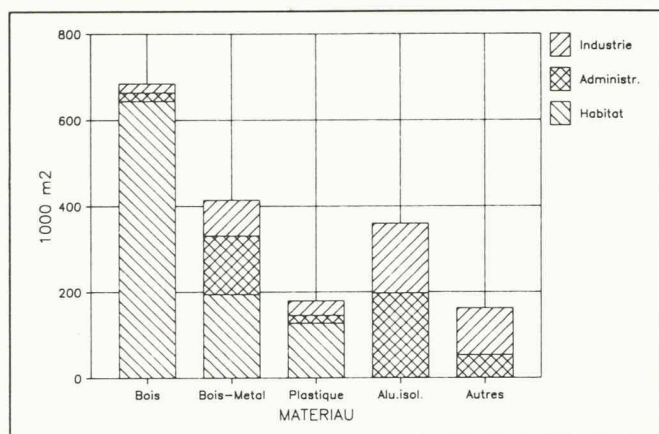


Fig. 1. — Répartition selon l'affectation et le matériau des cadres.

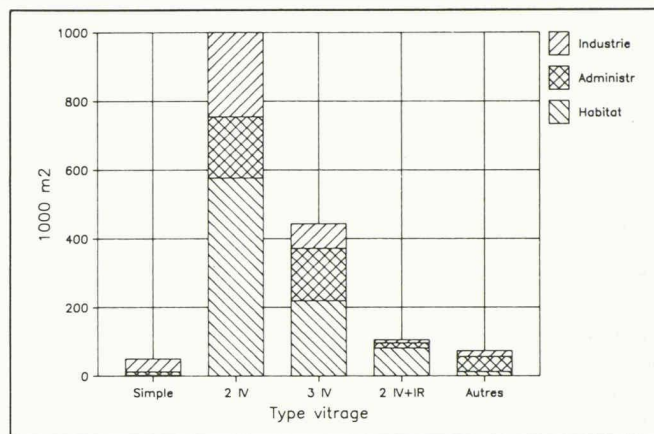


Fig. 2. — Répartition selon l'affectation et le type de vitrage.

de revêtement. Ces deux tendances conduisent vers une fabrication encore plus automatisée.

Beaucoup d'architectes souhaitent un plus grand choix de couleurs de cadres, ainsi que la possibilité de choisir des couleurs différentes à l'intérieur et à l'extérieur, ce qui avantage les fenêtres en métal avec pont thermique coupé et les fenêtres en bois/métal.

#### b) Fabrication et montage

La fabrication des fenêtres en bois se fait aujourd'hui d'une manière hautement mécanisée. L'utilisation de l'informatique dans le domaine administratif (devis, facturation, mais aussi listes de pièces) et l'introduction de machines à commande numérique permettent à de petites et moyennes entreprises de rester concurrentielles. Les modes de fabrication ont été optimisés et se sont uniformisés. Pour les fenêtres en métal, les systèmes complets de profilés et d'accessoires se sont imposés, comme sur le marché des fenêtres en plastique. Ces systèmes sont offerts avec des logiciels administratifs adaptés et, dans certains cas déjà, avec des logiciels CAO et CIM (Computer Integrated Manufacturing — fabrication intégrée par ordinateur). Sur le chantier, des systèmes spéciaux de fixation permettent d'augmenter considérablement la productivité. Il est à noter que tous ces

développements se font sans changement de l'aspect, des performances ou de la durabilité des fenêtres.

#### c) Performances physiques des fenêtres

L'étanchéité à l'air et à l'eau des fenêtres a beaucoup augmenté au cours de ces dix dernières années. La position centrale de l'étanchéité et une chambre de décompression extérieure, qui permet le renvoi de l'eau, se sont généralisées pour tous les systèmes et types de cadres. L'augmentation de l'étanchéité à l'air a simultanément amélioré l'isolation phonique. Une protection acoustique accrue est devenue nécessaire dans beaucoup d'immeubles situés le long des axes de circulation urbaine et des autoroutes. Elle ne peut être obtenue qu'avec des fenêtres à caisson disposant de deux cadres séparés et de plusieurs verres.

Ces développements ont également une incidence sur la protection thermique : le développement de fenêtres à haute isolation thermique amène à des solutions intégrées qui combinent protection thermique, protection acoustique, protection solaire et renouvellement d'air contrôlé.

#### Protection thermique

Les performances énergétiques des fenêtres peuvent être améliorées par des mesures portant sur :

- les vitrages
- les cadres
- le raccord au gros œuvre.

L'optimisation des protections solaires et l'intégration de systèmes de gestion de la lumière peuvent constituer des mesures supplémentaires.

#### a) Type de vitrages

Par l'introduction de couches sélectives réfléchissant l'infrarouge, ainsi que par l'inclusion de gaz rares, le coefficient de transmission thermique du centre du vitrage a pu être pratiquement divisé par deux par rapport à un vitrage isolant double normal. L'intercalaire en aluminium situé sur le pourtour des verres devient alors le point faible du système. La valeur  $k$  des premiers centimètres à partir du bord d'un vitrage isolant double se situe entre 3 et 4 [W/m²K]. Ce problème pourra être résolu par le développement de nouveaux intercalaires en plastique ou par l'utilisation de plusieurs verres simples avec des couches sélectives.

Il existe aujourd'hui sur le marché des systèmes de vitrages avec des valeurs  $k$  de l'ordre de 0,6 [W/m²K]. Dès lors, le critère de choix entre de tels vitrages n'est plus la valeur  $k$ , mais d'autres paramètres tels que :

- la transmission énergétique totale (valeur  $g$ )

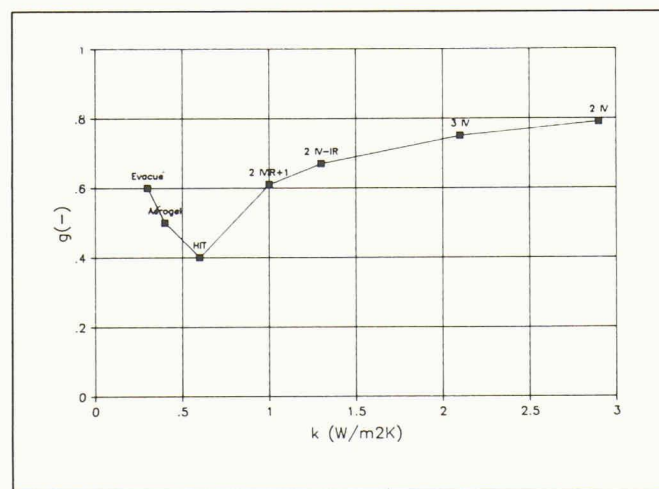


Fig. 3. — Evolution des valeurs k et g.

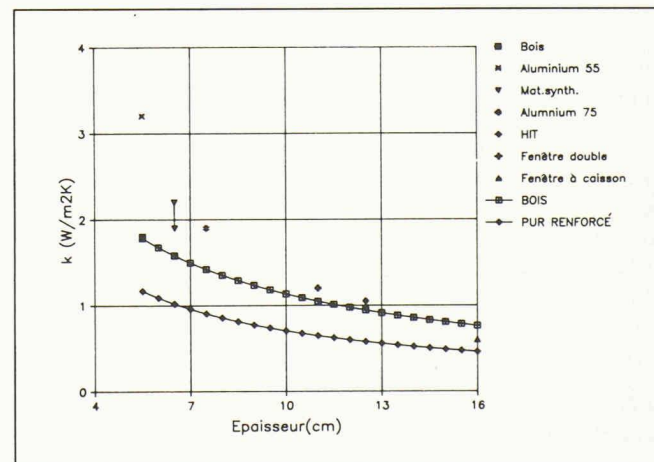


Fig. 4. — Influence de l'épaisseur des cadres et de la configuration de construction sur la valeur k du cadre.

- la transmission lumineuse
- les qualités optiques, en particulier le rendu des couleurs.

L'épaisseur totale des vitrages et systèmes de vitrages passe alors de 20 mm pour un vitrage isolant double à plus de 120 mm pour un vitrage HIT. Cela ne pose pas forcément de problème de place, le contrecœur présentant généralement une épaisseur supérieure. Les problèmes qui peuvent se poser sont alors de type statique et résultent du poids des parties mobiles (ouvrants).

A plus long terme, les développements suivants se dessinent :

- aérogels
- vitrages sélectifs à vide
- vitrages à transmission énergétique variable en fonction de l'intensité du rayonnement.

#### b) Cadres

Les propriétés thermiques des cadres sont déterminées par la conductibilité thermique de leur matériau, par leur épaisseur et par leur disposition dans la construction. A titre de référence, on peut considérer un cadre en bois d'une épaisseur de 55 mm et d'une valeur  $k$  de 1,8 [W/m<sup>2</sup>K]. Ce cadre constitue un bon partenaire pour les vitrages isolants triples et pour les vitrages de protection thermique. La valeur  $k$  des cadres en plastique varie selon le type de raidisseur et la configuration de construction (de 1,7 à 2,1 [W/m<sup>2</sup>K]). Les cadres en aluminium avec pont thermique coupé sont actuellement en pleine évolution. Les premiers cadres isolés en aluminium d'une épaisseur de 55 mm avaient une valeur  $k$  comprise entre 3 et 3,2 [W/m<sup>2</sup>K]. Par l'augmentation graduelle de l'épaisseur et par des améliorations de construction qui limitent fortement la transmission par convection et par rayonnement, on arrive aujourd'hui, pour les meilleurs cadres qui ont des épaisseurs de 70 à 75 mm, à des valeurs  $k$  de moins de 2 [W/m<sup>2</sup>K]. On retrouve ainsi un rapport raisonnable entre la valeur  $k$  du vitrage de protection thermique et le cadre.

Une autre possibilité de développement consiste en la mise au point de cadres composites aluminium/PUR/PVC. L'amélioration de la valeur  $k$  (qui se situe autour de 1,9 [W/m<sup>2</sup>K]) est obtenue par la combinaison d'un profil extérieur en aluminium, d'un élément de liaison en mousse PUR rigide et d'un profil intérieur en PVC. L'épaisseur de tels cadres est également voisine de 70 mm.

Pour des systèmes de vitrage avec des valeurs  $k$  inférieures à 1 [W/m<sup>2</sup>K], de nouveaux cadres doivent être développés. Cela implique dans tous les cas une augmentation de leur épaisseur. La longueur et la conductibilité thermique de l'élément de liaison entre le profil extérieur et le profil intérieur deviennent des grandeurs déterminantes. La figure 4 montre que cela conduit à des épaisseurs de plus de 11 cm. A titre de comparaison,

cette figure donne l'évolution du coefficient de transmission thermique du bois et d'une mousse rigide renforcée en PUR, en fonction de l'épaisseur.

On remarque que la conductibilité équivalente des cadres se rapproche dans presque tous les cas de celle du bois.

L'optimisation thermique des fenêtres à caisson, composées de deux cadres séparés, constitue une autre tendance. Les systèmes existants de fenêtres à caisson ont été conçus afin d'obtenir une protection phonique maximale, mais ils ne sont, la plupart du temps, pas très performants thermiquement.

#### c) Raccord au gros œuvre

Le calcul des flux thermiques pour différents types de raccords au gros œuvre et pour différents caissons de stores montre des différences importantes. C'est pourquoi il faut rechercher une liaison directe entre le plan de l'isolation du mur et la fenêtre. En cas d'isolation extérieure, il faut veiller à un bon recouvrement du cadre fixe par l'isolation. Des caissons de stores intérieurs constituent dans tous les cas des pertes importantes et ne devraient plus se faire. En dehors de ces mesures, il n'existe pas d'autres possibilités d'améliorer ces raccords. L'étanchéité parfaite à l'air est bien sûr une condition de base.

### Systèmes de fenêtres

Les possibilités de développement technologique des fenêtres en tant que composant isolé se limitent au choix du type de vitrage et du matériau de cadre et à l'optimisation du raccord au gros œuvre.

C'est pourquoi les développements ultérieurs feront intervenir l'intégration de fonctions supplémentaires (protection solaire, protection contre l'éblouissement, renouvellement d'air contrôlé) dans un véritable système de fenêtres.

Pour l'instant, on assiste aux développements suivants :

- La technologie à haute isolation (HIT) vise, par le moyen d'une réduction massive des pertes de transmission, à diminuer les besoins en chauffage à tel point que la couverture résiduelle des besoins puisse être assurée par un système de renouvellement de l'air à chauffage intégré.

De plus, les températures de surface élevées obtenues avec de telles fenêtres permettent d'envisager de nouveaux systèmes de ventilation à faible turbulence. Les possibilités réelles d'application de ces systèmes restent à préciser, mais on peut affirmer que seule une planification intégrale, c'est-à-dire la constitution d'une équipe de planification comprenant, dès les études préalables, des architectes et des ingénieurs spécialisés, permet de profiter des avantages qu'offrent de tels systèmes.

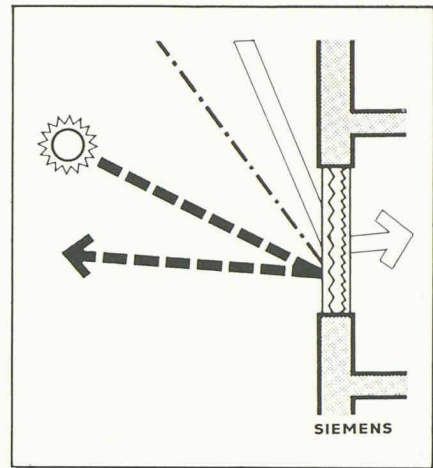


Fig. 5. — Systèmes de prismes pour l'utilisation optimale de la lumière du jour.

- Les fenêtres intégrales constituent un autre axe de développement. Ce type d'élément comprend, en plus d'un contrecœur très bien isolé et d'une partie vitrée également très performante, une protection solaire entre les verres, ainsi qu'une unité de renouvellement d'air contrôlé (échangeur de chaleur, ventilateurs, régulation). Les mêmes considérations sur la nécessité d'une planification intégrale s'appliquent également à ce cas.
- La nécessité d'une protection contre l'éblouissement et la volonté d'apporter plus de lumière de jour au fond des locaux ont amené au développement de systèmes de prismes qui dévient la lumière et peuvent être intégrés entre deux verres.

### Conclusions

Le développement de nouvelles fenêtres et systèmes de fenêtres très performants du point de vue énergétique 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. A l'heure actuelle, ce développement se heurte surtout au manque de connaissances et d'expérience au niveau de la planification. A plus long terme, l'évolution sera marquée par de nouveaux matériaux tels les aérogels, les vitrages sélectifs à vide (évacués), les couches minces holographiques ou de cristaux liquides.

Adresse de l'auteur :  
Niklaus Kohler, arch. EPFL-SIA,  
Dr ès sc. techn.  
EPFL-GRES  
1015 Lausanne