

Zeitschrift:	Ingénieurs et architectes suisses
Band:	113 (1987)
Heft:	19
Artikel:	Type de bâtiment et comportement de l'occupant: influence sur le bilan énergétique de la fenêtre
Autor:	Gay, Jean-Bernard / Morel, Nicolas
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-76422

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: 23.02.2026

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

Type de bâtiment et comportement de l'occupant

Influence sur le bilan énergétique de la fenêtre

par Jean-Bernard Gay et Nicolas Morel, Lausanne

Les facteurs qui influencent le bilan énergétique d'une fenêtre sont multiples, aussi leur prise en compte nécessite-t-elle des simulations dynamiques détaillées. Dans le présent article, nous présentons les résultats d'une étude faite sur deux locaux simples : un séjour et un bureau. Dans les deux cas, l'analyse a porté sur le bilan énergétique global incluant les besoins en chauffage et en éclairage. Les facteurs suivants ont été analysés de manière détaillée : influence du type de vitrage, de sa surface et de son orientation, influence de l'occupant sur les gains solaires.

1. Introduction

La détermination de l'effet des fenêtres sur le bilan énergétique d'une construction nécessite la connaissance d'un grand nombre de paramètres liés à la fenêtre elle-même, au bâtiment, à ses installations techniques, et finalement à l'occupant.

Afin d'étudier l'influence relative de ces différents facteurs, ainsi que leurs principales interactions, de nombreuses simulations numériques ont été faites à l'aide du programme «PASSIM» [1]¹. Dans chaque cas une simulation complète, sur toute une saison de chauffage, a été effectuée. Ces calculs ont permis de déterminer les besoins énergétiques nets en chauffage et en éclairage artificiel, ainsi que les distributions de différentes températures caractéristiques (de l'air, du vitrage, des murs), qui ont un effet direct sur le confort attendu.

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

Zusammenfassung

Die Vielzahl der Faktoren, die die Energiebilanz eines Fensters beeinflussen, kann nur über detaillierte Simulationsrechnungen erfasst werden.

In der vorliegenden Untersuchung werden zwei einfache Raumtypen berücksichtigt: ein Wohnraum und ein Büroraum. In beiden Fällen wird der Energiebedarf sowohl für Heizung als auch für Beleuchtung erfasst. Folgende Parameter wurden zusätzlich einbezogen: Glastyp, Fensterflächenanteil, Orientierung, Einfluss des Benutzerverhaltens.

admis (surface de fenêtres égale à 10% de la surface de plancher) à un local très largement vitré (surface de fenêtres égale à 30% de la surface de plancher).

Les surfaces de cadres ont été choisies en fonction de la taille de la fenêtre (de 20 à 30%).

a) Local considéré

L'étude portant tout spécialement sur l'effet des fenêtres, nous avons opté pour un local simple : un module de 75 m³ de volume, situé à l'angle d'un bâtiment. L'orientation du local, sa surface vitrée, son vitrage, sa masse thermique, ainsi que son affectation sont variables.

Le type de construction correspond aux standards suisses actuels: k (murs extérieurs) = 0,38 [W/m² K]; taux de renouvellement d'air moyen = 0,6 [r/h].

b) Fenêtres étudiées

Cinq types de vitrages ont été étudiés, leurs propriétés optiques et thermiques sont données dans le tableau 1. Ces types vont du vitrage double, le plus courant (vitrage isolant double normal, $k = 3,1$ [W/m² K]), à un vitrage sophistiqué très performant (vitrage HIT-S avec deux films sélectifs, $k = 0,65$ [W/m² K]). Dans chaque cas, les simulations ont porté sur trois surfaces de fenêtres qui vont du minimum légal généralement

c) Utilisation du local et mode de chauffage

Deux types d'utilisation ont été considérés : un séjour et un bureau. Ils entraînent des différences sensibles au niveau de l'occupation, des gains internes et des besoins en éclairage. Le tableau 2 donne les conditions adoptées dans les simulations.

d) Climat et orientation

Les simulations ont été effectuées en utilisant les données climatiques de Genève [2], d'octobre 1980 à mai 1981. Les calculs ont été répétés pour les orientations sud, est-ouest et nord.

Pour la période considérée, la température extérieure moyenne était de 7,3°C et le rayonnement global vertical sud s'élevait à 1828 [MJ/m²].

La section 5 de cet article présente une étude particulière sur l'influence de l'occupant en matière d'utilisation des protections solaires. Dans tous les autres cas, nous avons admis que les protections solaires (stores extérieurs) étaient utilisées.

TABLEAU 1. – Caractéristiques optiques et thermiques des vitrages considérés.

Type de vitrage	k [W/m ² K]	Emissivités								Caractéristiques selon DIN 67507								
		ε_{11}	ε_{12}	ε_{21}	ε_{22}	ε_{31}	ε_{32}	ε_{41}	ε_{42}	α_1	α_2	α_3	α_4	φ_e	τ_e	ϱ_i	g	τ
1. Isolant double (4/12/4)*	3,1	0,9	0,9	0,9	0,9	—	—	—	—	0,09	0,06	—	—	0,14	0,71	0,05	0,76	0,81
2. Isolant double sélectif (4/15/4)*	1,6	0,9	0,9	0,1	0,9	—	—	—	—	0,10	0,19	—	—	0,21	0,50	0,17	0,67	0,78
3. Isolant triple (4/12/4/12/4)*	2,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	—	—	0,09	0,07	0,05	—	0,18	0,61	0,07	0,68	0,74
4. Isolant triple sélectif (4/12/4/12/4)*	1,4	0,9	0,9	0,9	0,9	0,1	0,9	—	—	0,10	0,08	0,16	—	0,23	0,44	0,16	0,60	0,71
5. HIT-S (4/35/f/35/f/20/4)*	0,65	0,9	0,09	0,70	0,09	0,70	0,09	0,9	0,9	0,10	0,10	0,05	0,10	0,41	0,31	0,09	0,40	0,58

où :

α_i = absorption énergétique normale des verres

ε_{ij} = émissivité de la surface (i = numéro du verre, j = numéro de la couche, de l'extérieur vers l'intérieur)

ϱ_e = réflexion énergétique normale

τ_e = transmission énergétique normale

q_i = fraction de rayonnement absorbé réémis vers l'intérieur

$g = \tau_e + q_i$ = transmission énergétique totale

τ = transmission lumineuse dans le spectre visible

(*: distances en millimètres, de l'extérieur vers l'intérieur)

(Sources: vitrages 1 à 4: [8] vitrage 5: [9] et communication personnelle du Dr B. Keller.)

TABLEAU 2. — Paramètres liés à l'utilisation du local.

Utilisation	Séjour	Bureau
Occupation	1 personne 12-18 h ($P = 100 \text{ W}$)	2 personnes 8-18 h ($P = 250 \text{ W}$)
	3 personnes 18-22 h ($P = 300 \text{ W}$)	
Eclairage	7,5 [W/m^2]	15 [W/m^2]
Seuil d'enclenchement	200 [lux]	300 [lux]
Seuil de déclenchement	300 [lux]	500 [lux]
Chauffage	$P = 1 \text{ [kW]}$ (100% convectif) par sonde intérieure, $T_{\min} = 20^\circ\text{C}$	
Régulation		
Abaissement nocturne de la température (ANT)	de 22 à 6 h	de 18 à 6 h
T_{\min}	15°C	15°C

sées dès que la température équivalente intérieure (T_{index}) dépassait 23°C.

3. Influence des besoins en éclairage

Les besoins en éclairage artificiel dépendent évidemment très fortement du type de local considéré; pour l'habitat traditionnel, ils sont en général faibles [3], [4]: 4 à 5% des besoins globaux. Pour le séjour considéré dans cette étude, ils sont un peu plus importants étant donné que l'on a admis un taux d'occupation diurne de 50%. Dans le cas des locaux administratifs, ces besoins sont beaucoup plus élevés et jouent un rôle important dans le bilan.

Pour calculer les besoins en éclairage artificiel, il faut tenir compte des facteurs suivants:

- seuils d'enclenchement et de déclenchement de l'éclairage artificiel
- puissance d'éclairage installée
- heures d'occupation du local
- apports de l'éclairage naturel.

Une routine de calcul de ces besoins a été introduite dans le code de simulation (PASSIM); elle a permis de calculer heure par heure les besoins en éclairage artificiel et cela pour les nombreuses variantes considérées.

La figure 1 donne, pour le bureau et le séjour, la consommation spécifique totale en énergie auxiliaire (en MJ par m^2 de plancher) en fonction de la surface relative de fenêtre (surface de fenêtre/surface de plancher) et des seuils d'enclenchement et de déclenchement de l'éclairage artificiel ($S1/S2$ en lux).

Sur ces graphiques, l'énergie thermique et l'énergie électrique ont été comptées à égalité: 1 MJ (thermique) = 1 MJ (électrique). On peut être amené à choisir une autre pondération, afin de tenir compte des différences d'énergie et de coût entre ces deux formes d'énergie. La figure 2 montre l'effet d'une telle pondération sur la forme des courbes: elle donne pour le bureau l'évolution des besoins spécifiques globaux en énergie en fonction de la

surface relative de fenêtre, de son orientation et de la pondération choisie.

Pour l'orientation nord, les besoins en énergie sont indépendants de la surface de la fenêtre aussi longtemps que l'on considère à égalité les énergies électrique et thermique; dès que l'on introduit une autre pondération, de petites fenêtres ($SP/SF = 0,2$) conduisent à une augmentation des besoins. Dans le cas du séjour, les résultats sont différents, les besoins en éclairage étant beaucoup plus faibles. Dans la suite de cette étude, pour des raisons de simplicité, nous avons considéré les deux formes d'énergie comme équivalentes, c'est-à-dire: 1 MJ (électrique) = 1 MJ (thermique).

La figure 3 donne pour le bureau et pour le séjour l'évolution de la consommation spécifique totale (éclairage + chauffage, comptés à égalité), ainsi que la fraction due au seul éclairage artificiel.

4. Influence du type de vitrage

L'influence du type de vitrage et de son orientation a été analysée de manière plus détaillée dans le cas du séjour. Les figures 4 à 8 présentent l'évolution des besoins globaux en énergie (chauffage + éclairage artificiel) en fonction de la surface de la fenêtre, du type de vitrage et de son orientation.

5. Utilisation des protections solaires et confort

L'utilisation plus ou moins intensive des protections solaires a un effet direct sur les besoins en chauffage du local considéré. Le taux d'utilisation de ces protections est lié au sentiment de confort thermique ressenti par l'occupant; il dépend toutefois également d'habitudes ou d'autre

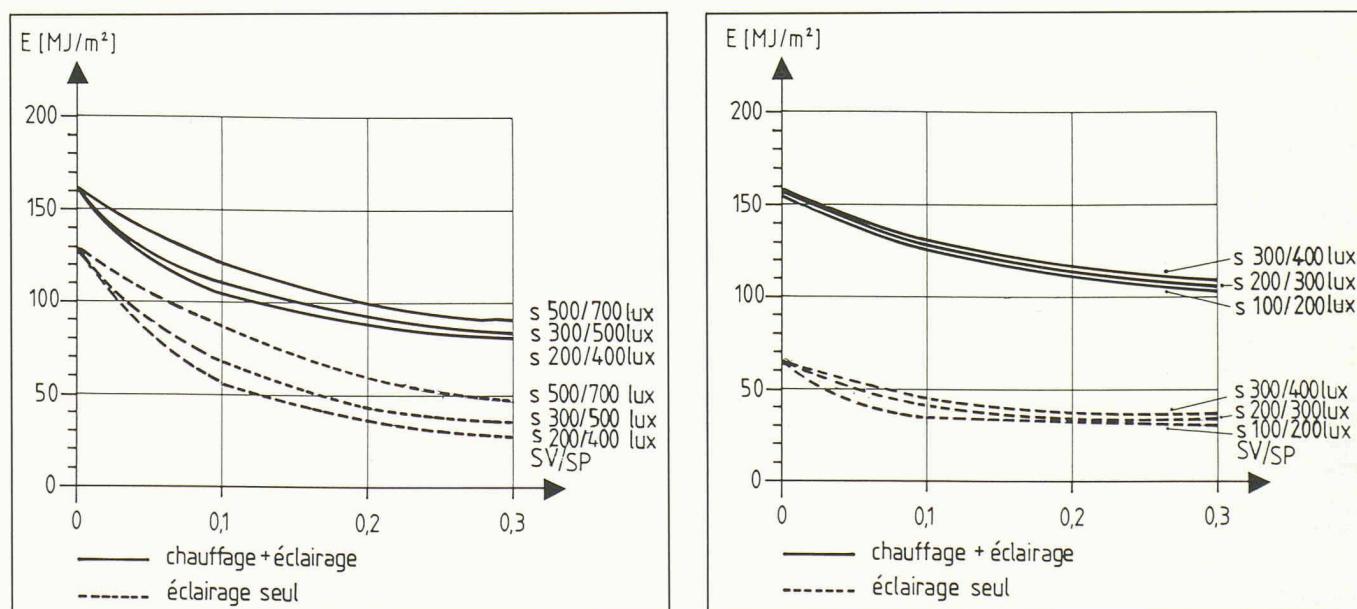


Fig. 1. — Consommation spécifique totale en énergie auxiliaire pour toute la saison de chauffage, en fonction de la surface relative de fenêtre et des niveaux d'éclairage choisis.

Pour: - vitrage isolant double sélectif orienté au sud

- construction lourde, avec abaissement nocturne de la température (ANT)
- pas de stores, rejet dès que $T_{\text{air}} > 26^\circ\text{C}$.

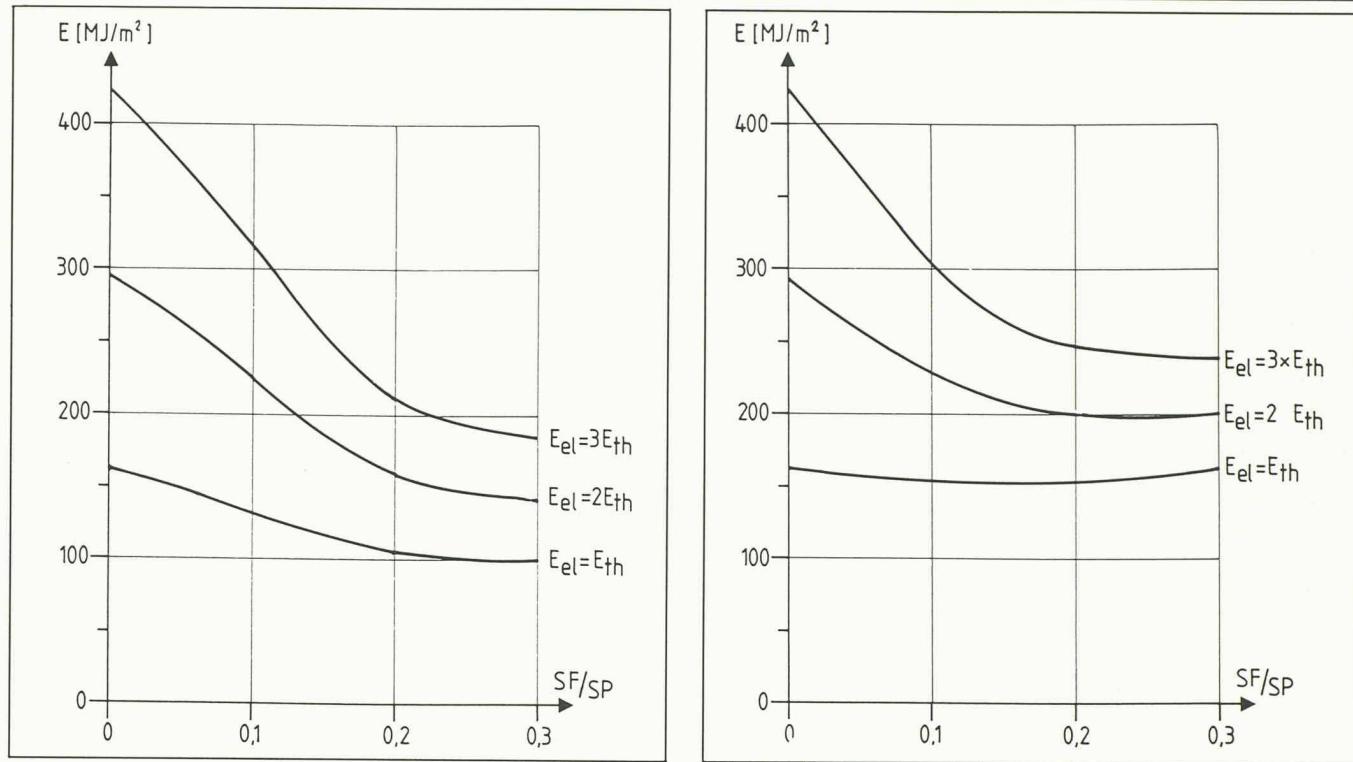


Fig. 2. — Consommation spécifique totale en énergie auxiliaire pour toute la saison de chauffage, en fonction de la surface relative de fenêtre et de la pondération introduite entre l'énergie électrique et l'énergie thermique.

Pour: - bureau

- vitrage isolant double sélectif
- construction lourde avec ANT
- stores utilisés dès que $T_{index} > 23^\circ C$.

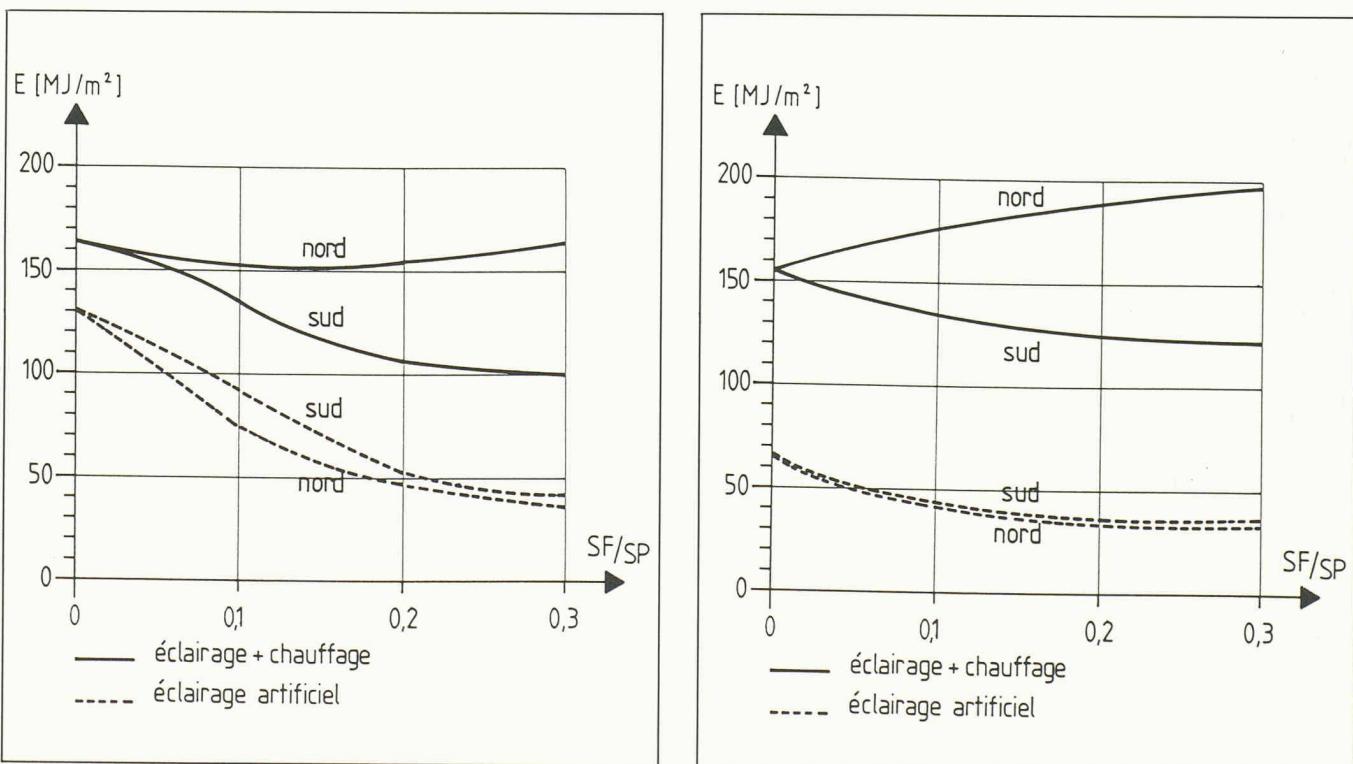


Fig. 3. — Consommation spécifique totale en énergie auxiliaire pour toute la saison de chauffage, en fonction de la surface relative de fenêtre et de l'orientation.

Pour: - vitrage isolant double sélectif

- construction lourde avec ANT
- stores utilisés dès que $T_{index} > 23^\circ C$.

tres préoccupations (celle, par exemple, de protéger le mobilier du rayonnement direct).

A défaut de pouvoir « modéliser » le comportement réel d'un « habitant moyen », nous nous sommes attachés à décrire

quelques comportements types. Pour cela, nous avons introduit une « température résultante de confort » (T_{index}) qui dépend [5]: de la température de l'air, de la température radiante moyenne, ainsi que du rayonnement solaire incident.

Le calcul de cette température, effectué à chaque pas de la simulation, a permis de décider de l'utilisation éventuelle des protections solaires. Quatre cas ont été considérés:

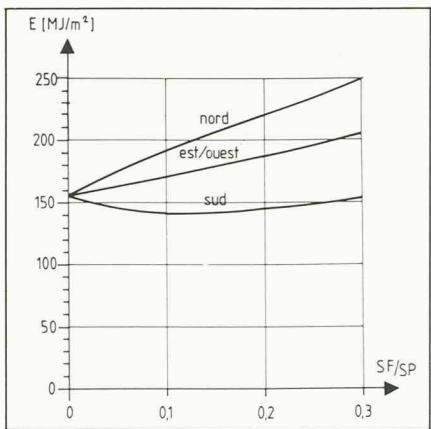


Fig. 4. - Vitrage isolant double normal.
Pour : - séjour
- construction lourde avec ANT
- stores utilisés dès que $T_{index} > 23^\circ C$.

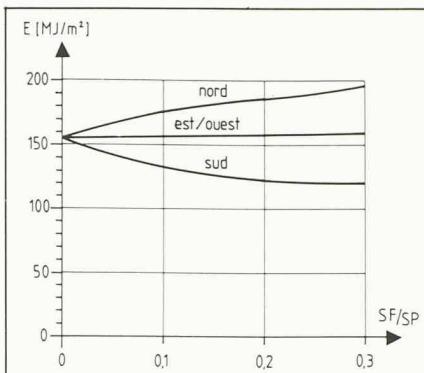


Fig. 5. - Vitrage isolant double sélectif.
Pour : - séjour
- construction lourde avec ANT
- stores utilisés dès que $T_{index} > 23^\circ C$.

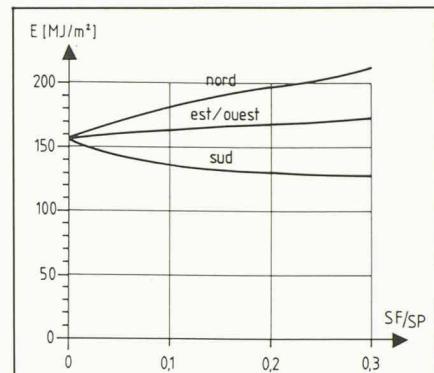


Fig. 6. - Vitrage isolant triple normal.
Pour : - séjour
- construction lourde avec ANT
- stores utilisés dès que $T_{index} > 23^\circ C$.

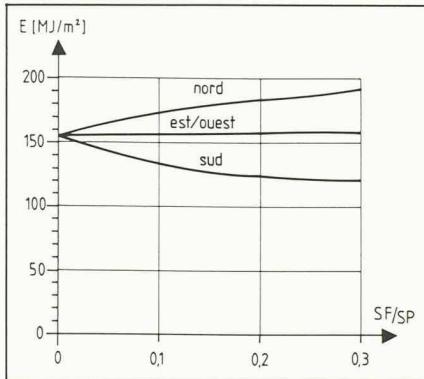


Fig. 7. - Vitrage isolant triple sélectif.
Pour : - séjour
- construction lourde avec ANT
- stores utilisés dès que $T_{index} > 23^\circ C$.

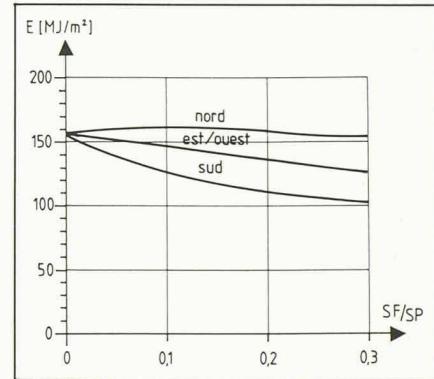


Fig. 8. - Fenêtre HIT-S.
Pour : - séjour
- construction lourde avec ANT
- stores utilisés dès que $T_{index} > 23^\circ C$.

- a) pas de stores, rejet de chaleur (par ouverture de la fenêtre) dès que la température de l'air intérieur dépasse $26^\circ C$;
- b) stores utilisés dès que la température résultante dépasse $25^\circ C$;
- c) stores utilisés dès que la température dépasse $23^\circ C$;
- d) stores utilisés dès que la température résultante dépasse $21^\circ C$.

On notera que la variante c correspond au comportement moyen adopté dans toutes les simulations présentées précédemment.

Les deux cas extrêmes correspondent d'une part (a) à un utilisateur peu sensible et prêt à accepter des surchauffes, d'autre part (d) à un utilisateur très exigeant, ne supportant pas de fluctuation de température.

La figure 9 montre, dans le cas du bureau et du séjour, l'influence du comportement de l'occupant sur les besoins spécifiques en énergie.

Les plus grandes différences apparaissent dans le cas du bureau : entre les deux cas extrêmes, les différences relatives peuvent atteindre 35% des besoins globaux, dans le cas du séjour ces différences ne dépassent pas 23%.

6. Conclusions

L'optimisation d'une fenêtre, ou d'un système de fenêtres, ne peut se faire sans données précises sur le bâtiment considéré, sur ses installations techniques, sur son utilisation, sur le climat local, ainsi que, bien évidemment, sur la fenêtre elle-même. Cela implique un très grand nombre de paramètres qui, souvent, interagissent entre eux. C'est pourquoi la plupart des études effectuées jusqu'ici ont été soit partielles, soit fondées sur des méthodes simplifiées.

Les études paramétriques effectuées dans le cadre de ce travail sont fondées sur deux objets particuliers : un séjour et un bureau. Les résultats présentés doivent donc être interprétés avec prudence : s'ils constituent des indications utiles, ils ne sauraient dispenser d'une

étude sérieuse dès que l'on s'éloigne par trop des conditions adoptées dans les simulations.

6.1 Besoins en éclairage artificiel

- Si, sur un bâtiment résidentiel, les besoins en éclairage artificiel ne représentent que 4 à 5% des besoins énergétiques globaux, la situation est très différente dans le cas des bâtiments administratifs. Ce facteur ne peut donc être négligé dans une étude d'optimisation des fenêtres.
- Les besoins en éclairage ne coïncident pas forcément avec les besoins en chauffage ; de ce fait, le facteur d'utilisation des fenêtres.

sation des apports de chaleur dus à l'éclairage artificiel peut être bien inférieur à 1.

- Les besoins en éclairage artificiel ne varient pas linéairement en fonction de la surface de fenêtre : alors que les premiers mètres carrés apportent une réduction substantielle de ces besoins, au-delà d'une certaine surface (20% de la surface de plancher), l'effet devient faible.
- L'évaluation des besoins en éclairage artificiel nécessite une connaissance de l'éclairage extérieur horizontal ; les mesures et les calculs effectués ont montré que celui-ci pouvait être cal-

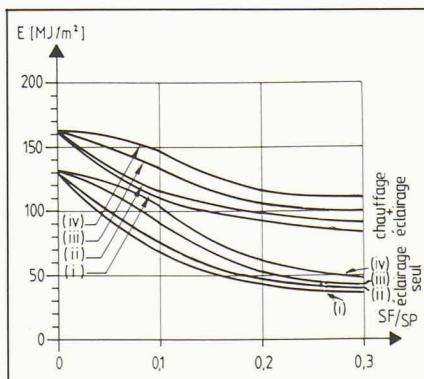
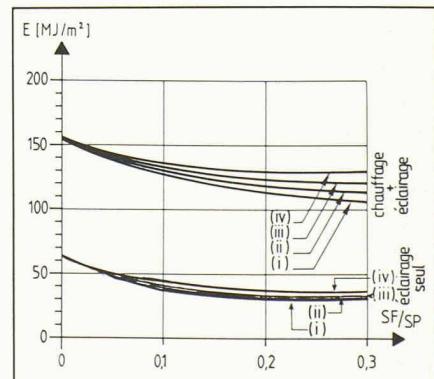


Fig. 9. - Consommation spécifique totale en énergie auxiliaire pour toute la saison de chauffage, en fonction de la surface relative de fenêtre et de l'utilisation des protections solaires.
Pour : - vitrage isolant double sélectif
- construction lourde avec ANT
- climat de Genève, orientation sud.



culé avec une très bonne précision à partir du rayonnement global horizontal. Un modèle simplifié a été développé pour cela par le GRES à l'EPFL.

- L'autre facteur nécessaire au calcul des besoins en éclairage artificiel est le « facteur de lumière du jour » (FLJ) qui dépend des caractéristiques du local et de son environnement. Le programme « MECENA » développé par le GRES permet un calcul rapide de ce paramètre. Une étude plus détaillée nécessite évidemment que l'on tienne compte de la position des utilisateurs, ainsi que de la répartition souhaitée du niveau d'éclairage.

6.2 Types de vitrages

De par leurs performances énergétiques globales, les vitrages considérés peuvent être regroupés en trois catégories principales :

- a) les vitrages isolants doubles non traités
- b) les vitrages isolants doubles sélectifs, triples normaux et triples sélectifs
- c) les vitrages superisolants à films sélectifs (type HIT-S).

Il est intéressant de noter que les différences entre les catégories a et b sont du même ordre de grandeur que celles entre les catégories b et c, et cela quelles que soient la surface vitrée et son orientation.

- Il est en particulier intéressant de noter que les vitrages isolants doubles sélectifs et triples sélectifs conduisent à des bilans très voisins, le gain résultant de l'isolation supplémentaire étant compensé par la diminution de la transmission énergétique.

- L'utilisation de fenêtres à très hautes performances ($k = 0.6 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$) permet, dans les conditions climatiques de Genève, d'aboutir à des bilans nets positifs quelle que soit l'orientation du vitrage. Le choix de la surface de fenêtre dépend alors essentiellement des besoins en éclairage naturel. Le problème principal cesse d'être le chauffage, mais peut être la surchauffe ; aussi, avec de telles fenêtres, convient-il d'étudier tout spécialement les charges internes et le système de régulation, ainsi que les protections solaires estivales.

6.3 Utilisateur et confort

- De par son comportement (fluctuations de température admises, utilisation des protections solaires, ventilation), l'occupant a évidemment une influence directe sur les besoins en énergie. Pour les variantes considérées dans le cadre de cette étude, les différences relatives peuvent atteindre 23 % des besoins globaux en énergie auxiliaire, dans le cas du séjour, et 35 % dans celui du bureau.

- Pour des raisons de confort, on veillera à choisir des couches sélectives présentant une faible absorption au rayonnement visible.

Bibliographie

- [1] MOREL, N.: « PASSIM » — Mode d'emploi, GRES-EPFL, 1984.
- [2] GUISAN, O.; INEICHEN, P.: « Données météorologiques de Genève: 1.1.80-31.12.81 », GAP - Université de Genève, 1983.
- [3] WICK, B.: *Statistiques des consommations d'énergie des bâtiments en Suisse*, MSE, 1984.
- [4] SAUGY, B.; BONNARD, D. et VUILLE, F.: « Consommation d'électricité des ménages », *Ingénieurs et architectes suisses*, octobre 1980, pp. 325-330.
- [5] FANGER, P. O.: *Thermal Comfort*, Krieger Publishing Company, 1982.
- [6] ERIKSSON, CH.; GAY, J.-B. et MOREL, N.: « Influence de la fenêtre sur le bilan énergétique d'une construction », GRES-EPFL, décembre 1986.
- [7] GAY, J.-B.; FRANK, T. et KELLER, B.: « Fenêtres et systèmes de fenêtres » — Rapport de synthèse 1983-1986 sur la participation suisse à l'annexe XII, EPFL, 1986.
- [8] FRANK, T. H.; PÜNTENER, T. W. et HUBER, R.: « Oberflächentemperaturen von besetzten Fensterglasscheiben und ihre Auswirkungen auf Raumklima und Komfort », EMPA-IBE, Juni 1986.
- [9] KELLER, B.; FRANCELET, P.-A. et ROULET, C.-A.: « Der Einfluss von hochisolierenden Fenster- und Fassadensystemen auf Raumklima und Energiebedarf », EPFL-Geilinger AG, 1985.

- Selon le type de vitrage considéré, on observe des températures de surface de la vitre intérieure très différentes, celles-ci ont une influence directe sur le confort ressenti par l'occupant. Alors que les vitrages doubles normaux peuvent provoquer en plein hiver des sens-

timents de froid, les vitrages sélectifs conduisent à des surchauffes à l'entre-saison : avec du triple vitrage sélectif on atteint des températures de 34°C en avril.

- Les verres sélectifs peuvent présenter des températures de surface élevées à l'entre-saison et en été. Il peut en résulter une situation inconfortable, tout spécialement avec des vitrages orientés à l'est et à l'ouest, une protection solaire efficace étant difficile à réaliser lorsque la hauteur du soleil est faible. Une solution simple et efficace consiste alors à monter le vitrage avec le verre sélectif à l'extérieur. Ce mode de faire diminue quelque peu les performances hivernales du vitrage, mais améliore très sensiblement le confort estival.
- Avec des vitrages de très bonne qualité, le confort hivernal peut être garanti sans que l'on soit contraint de placer une source de chaleur (radiateur ou convecteur) sous la fenêtre. Cela est possible pour autant que la valeur k du vitrage soit inférieure à $1,4 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$ et que la fenêtre soit étanche à l'air. Des résultats plus détaillés sur cette étude peuvent être trouvés dans les références [6] et [7].

Adresse des auteurs:

Jean-Bernard Gay
Physicien EPFZ, D' ès sciences
Nicolas Morel
Physicien, D' ès sciences
EPFL — GRES
1015 Lausanne

Influence des installations techniques sur le bilan de la fenêtre

par Toni W. Püntener et Thomas Frank, Dübendorf

L'influence des installations techniques sur le bilan de la fenêtre a été étudiée dans le cadre du projet AIE « Windows and Fenestrations », au travers d'une étude paramétrique. Celle-ci a permis de mettre en évidence l'influence du type de chauffage, et de sa régulation, sur le coefficient d'utilisation des gains solaires et internes. Les résultats sont présentés sous la forme de « fonctions d'utilisations » qui peuvent servir de base à un modèle énergétique stationnaire.

Introduction

La fenêtre a une influence directe sur le bilan énergétique du bâtiment. Les facteurs qui influencent ce bilan sont toutefois multiples et, de plus, ils interagissent entre eux. De ce fait, le bilan de la fenêtre ne peut être dissocié de celui du reste du bâtiment. En plus de l'utilisateur, les installations techniques ont une grande influence : durant la période de chauffage, les gains solaires et internes doivent

Zusammenfassung

Das Zusammenwirken von Fenster und Haustechnik wurde im Rahmen des IEA-Projektes « Windows and Fenestrations » mit einer Parameterstudie rechnerisch untersucht. Der Einfluss von Art, Regelung und Betriebsweise des Heizungssystems auf die Ausnutzbarkeit der Sonnenenergiegewinne durch Fensterflächen wird näher erläutert. Die Resultate werden in Form von Ausnutzungsfunktionen für ein stationäres Energiebilanzmodell dargestellt.