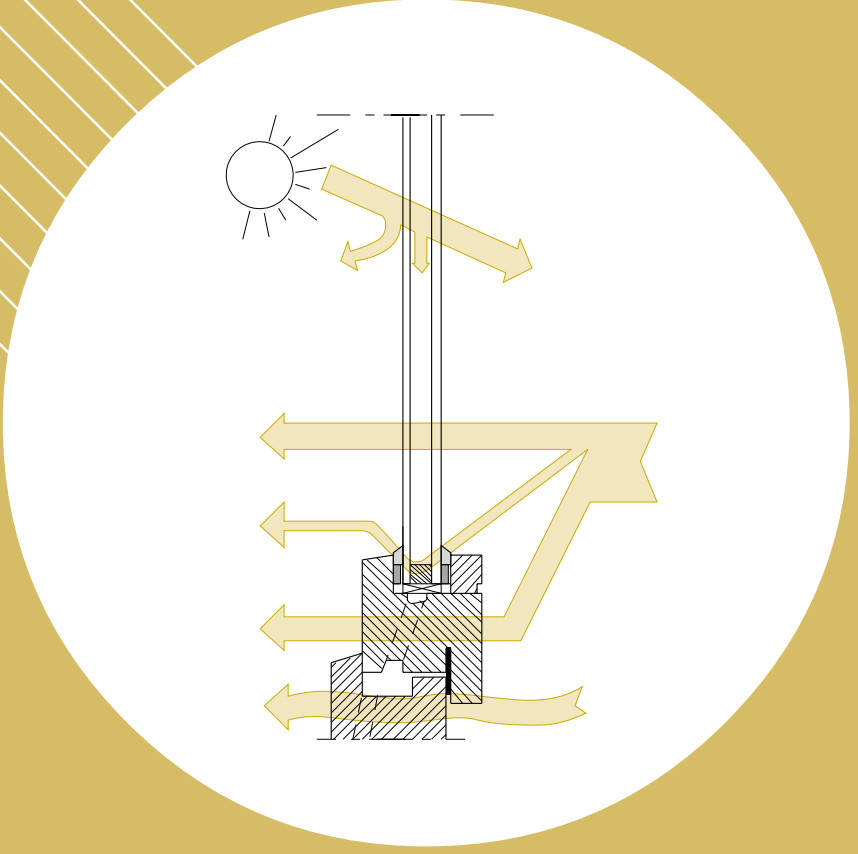
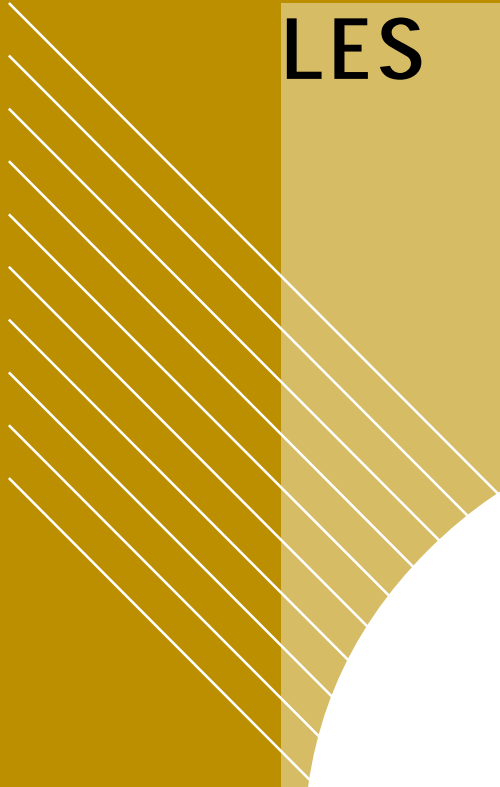
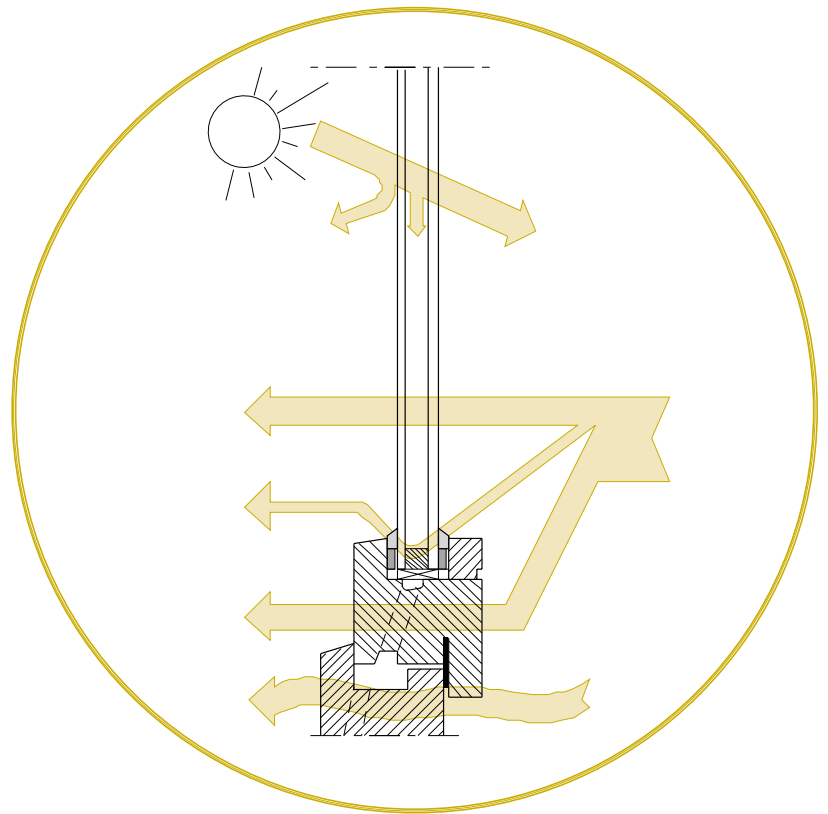


LES FENÊTRES



1 9 9 8

LES FENÊTRES



Edition 1998

Table des matières

1. Pourquoi cette brochure ?	5	6. Aspects pratiques	25
2. Des exigences contradictoires	6	6.1 Performances mécaniques et fonctionnelles	25
3. Performances des fenêtres	8	6.1.1 Introduction	25
4. Les solutions	10	6.1.2 Principes d'étanchéité des châssis	25
4.1 Vitrages	10	6.2 Pose de menuiserie extérieure	26
4.1.1 Isolation thermique	10	6.3 Entretien	27
4.1.2 Apports solaires et lumineux	14	6.3.1 Les châssis en bois	27
4.1.3 Acoustique	15	6.3.2 Les châssis en PVC	27
4.2 Les châssis	16	6.3.3 Les châssis en aluminium	27
4.2.1 Isolation thermique	16	7. Les normes, la réglementation et les agréments techniques	28
4.2.2 Influence du type de châssis sur l'isolation acoustique	17	7.1 Les normes	28
4.3 Protection solaire	18	7.2 La législation en Région wallonne	28
4.4 Volets roulants	21	7.3 Agréments techniques	28
4.4.1 Isolation thermique	21	8. Conclusions	29
4.4.2 Apports solaires	21	Références	30
4.5 Fenêtres et ventilation	21	Annexe 1 - Conventions et terminologie	31
4.5.1 Etanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment	21	Annexe 2 - Tables de coefficients de transmission thermique de châssis et fenêtres	34
4.5.2 La ventilation de base	22		
4.5.3 La ventilation intensive	22		
5. Aspects architecturaux	23		
5.1 Fenêtres et Architecture	23		
5.1.1 Orientation	23		
5.1.2 Implantation et localisation	23		
5.1.3 Inclinaison	23		
5.1.4 Dimension des surfaces vitrées	23		
5.1.5 Répartition des locaux et compartimentation	24		
5.2 Fenêtres et serres/vérandas	24		

Cette brochure s'adresse en priorité aux techniciens du bâtiment, aux dessinateurs et aux particuliers désireux d'établir un dialogue avec un entrepreneur ou un architecte.

Elle concerne uniquement les fenêtres dans le cadre d'une habitation unifamiliale, tant en construction neuve qu'en rénovation.

1

Pourquoi cette brochure ?

L'énergie, un problème crucial ?

Pour préserver la qualité de notre environnement et notre approvisionnement en combustibles, il s'avère urgent d'utiliser rationnellement et efficacement l'énergie. Faut-il pour autant y sacrifier notre confort ?

Comment réduire notre facture énergétique tout en habitant un logement confortable, où il fait bon vivre, sans courants d'air intempestifs, sans humidité ?

Cette brochure s'intègre dans une série de publications traitant des divers aspects de l'utilisation rationnelle de l'énergie (U.R.E.) dans le logement.

Les Guichets de l'Energie installés dans les principales villes wallonnes peuvent également vous donner des conseils gratuits et en toute indépendance.

Pour connaître les coordonnées du Guichet de l'Energie le plus proche, appelez le numéro vert du Ministère de la Région wallonne : 08001/1901.

Les brochures URE

- Isolation thermique des murs creux
- Isolation thermique des murs pleins
- Isolation thermique de la toiture plate
- Condensation et moisissures
- La ventilation des logements
- Les fenêtres
- Le chauffage

2

Des exigences contradictoires

Les fenêtres qui équipent les bâtiments affectés au séjour des personnes sont destinées à assurer l'éclairage naturel des locaux et le contact visuel entre l'intérieur et l'extérieur. Par sa transparence, le verre remplit parfaitement ces fonctions, tout en préservant les locaux des intempéries.

La fenêtre doit pouvoir remplir d'autres fonctions qui semblent parfois difficiles à combiner : résistance structurelle à l'action du vent, à la neige et aux contraintes thermiques, étanchéité à l'air et à l'eau, isolation thermique et acoustique, confort visuel, ventilation, protection contre la surchauffe, possibilité d'occultation, sécurité ...

Outre sa contribution à l'esthétique de la façade et au caractère prestigieux du bâtiment, la fenêtre joue un rôle important sur le plan de l'énergie et du confort. L'optimisation des performances de la fenêtre dans ces deux domaines doit cependant répondre à des exigences contradictoires.

Si le passage de la lumière du jour et le contrôle de l'éblouissement exige des baies bien orientées situées dans le haut des murs et munies de verre clair, le contact visuel avec l'extérieur réclame plutôt des fenêtres panoramiques à hauteur du regard.

D'autre part, pour récupérer les apports solaires (gratuits) durant la saison de chauffe, il est nécessaire de disposer de grandes surfaces vitrées orientées plein sud, alors que pour limiter les pertes de chaleur la nuit, il vaut mieux réduire la surface de la fenêtre; si l'on veut en plus éviter la surchauffe des locaux en été, il faut prévoir une protection solaire.

Les derniers développements de la technologie du verre et des châssis tendent donc en toute logique à concilier ces exigences, soit en ajoutant des éléments (coatings, volets, protection solaire) ou en combinant les couches de verre, soit en introduisant des matériaux totalement nouveaux.

De la fenêtre du passé à la fenêtre performante...

Jusqu' il y a peu, la plupart de nos habitations et immeubles de bureaux étaient équipés de fenêtres à simple vitrage dont les châssis étaient peu performants (acier ou en aluminium sans coupure thermique, peu étanches à l'air et à l'eau).

C'est essentiellement après les chocs pétroliers des années '70 que l'usage du double vitrage s'est imposé afin de réduire les pertes calorifiques, mais en même temps, dans le but d'accroître le confort thermique et de diminuer le risque de condensation. Depuis décembre 1996, la Région wallonne exige au minimum l'installation de double vitrage ordinaire dans les constructions neuves ainsi que pour les cas de rénovation nécessitant un permis de bâtir.

Le triple vitrage n'a pas réussi à s'implanter dans notre pays ; en revanche, le double vitrage dit 'amélioré' ou 'à haut rendement' a vu, ces dernières années, sa part de marché augmenter. En Belgique comme à l'étranger, des produits offrant des performances énergétiques supérieures sont d'ores et déjà disponibles sur le marché. D'innombrables innovations sont en cours de développement, tandis que d'autres en sont déjà au stade du prototype ou du projet de démonstration.

Récemment, on a pu enregistrer des progrès notables concernant divers aspects du châssis et du verre; citons entre autre :

- l'amélioration des performances énergétiques en période hivernale ;
- le contrôle des gains solaires, un aspect de plus en plus étudié, d'une part, en réponse au nombre croissant de plaintes concernant la surchauffe en été et, d'autre part, en tant que stratégie visant à éviter le refroidissement actif ;
- l'optimisation de l'éclairage naturel, une donnée importante, en particulier dans les bureaux, où il convient de limiter l'utilisation de l'éclairage artificiel et de contrôler la transmission de lumière pour éviter les phénomènes d'éblouissement et les reflets sur les écrans d'ordinateur ;
- la mise au point de façades à fonctions multiples : la combinaison de fonctions dans les murs-rideaux s'est de plus en plus imposée ces dernières années.

Bon nombre d'autres techniques nouvelles ne sont pas encore commercialisées et il est plus que vraisemblable que les vitrages et les systèmes de châssis pour les habitations et les bureaux connaîtront une évolution sensible au cours des prochaines années.



Performances des fenêtres

De nombreux aspects entrent en jeu lorsqu'on évalue les performances d'un vitrage sous l'angle de l'énergie et du confort :

- l'isolation thermique : il est souhaitable que la fenêtre ait un pouvoir isolant le plus élevé possible, tant pour la limitation des déperditions calorifiques que pour la prévention des problèmes de condensation intérieure et le confort thermique.
- les gains solaires et leur maîtrise : des gains solaires élevés sont intéressants en période de chauffe car ils contribuent à réduire la consommation d'énergie de chauffage; ils sont en revanche pénalisants en période estivale car ils sont responsables de la surchauffe.
- la transmission de la lumière : à chaque instant, la fenêtre a pour fonction d'assurer un contact visuel et de laisser pénétrer la lumière du jour. On veillera à maximiser ces apports tout en portant attention au confort visuel (éviter l'éblouissement, etc.).
- l'acoustique : la fenêtre doit constituer une barrière acoustique efficace vis-à-vis de l'environnement extérieur.

- la ventilation : la fenêtre doit aussi être étanche à l'air; on peut cependant y intégrer des dispositifs de ventilation (grilles...) participant à la ventilation de base des locaux mais l'ouvrir pour la ventilation intensive.

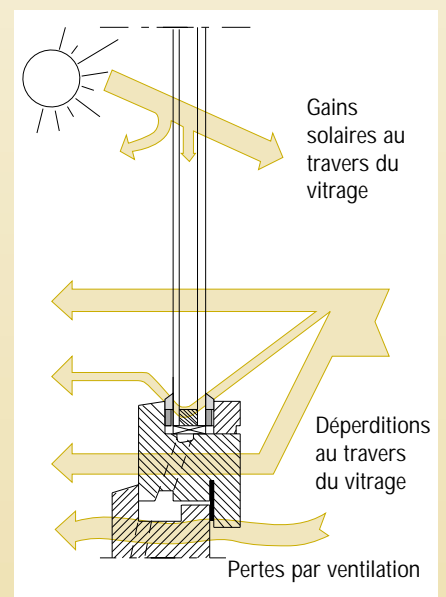
Le bilan énergétique

Le coefficient de transmission thermique d'un vitrage est insuffisant pour décrire ses performances énergétiques par une approche intégrée. La figure suivante illustre les différents paramètres intervenant dans le bilan énergétique global d'une fenêtre :

- Les pertes thermiques par transmission, caractérisées par le pouvoir isolant du vitrage lui-même, de la menuiserie, et les effets de bords dus à l'intercalaire ainsi que les dimensions relatives des différents éléments concernés ;
- Les gains solaires à travers la fenêtre, déterminés par le facteur solaire absolu du vitrage et le pourcentage de surface vitrée des fenêtres ;

- Les pertes par ventilation à travers la fenêtre, dépendant de l'étanchéité à l'air de la menuiserie et de ses raccords.

La transmission lumineuse n'intervient pas directement dans le bilan énergétique de la fenêtre mais a un impact non négligeable sur le confort intérieur et la consommation énergétique liée à l'éclairage.



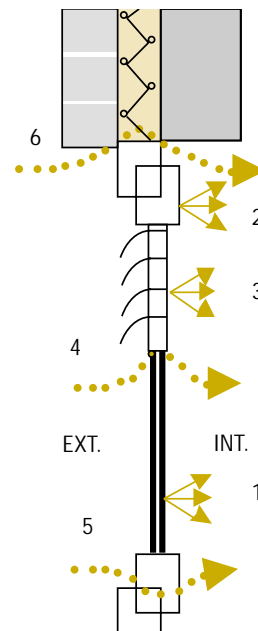
Les performances acoustiques

L'isolation acoustique des fenêtres concerne deux types de bruits : les bruits aériens et les bruits de contact. L'isolation aux bruits aériens des fenêtres a généralement pour fonction principale d'isoler l'intérieur du bâtiment des bruits du trafic. Les bruits de contact quant à eux sont principalement provoqués par les impacts des précipitations (grêle ou pluie); ce phénomène est particulièrement critique dans le cas des vitrages inclinés.

L'objectif de cette brochure n'est pas de décrire en détail les caractéristiques et performances acoustiques des fenêtres mais bien de donner un aperçu des points qui méritent attention.

Les performances acoustiques des fenêtres sont pour l'essentiel déterminées par les éléments suivants :

- Isolation acoustique du vitrage, de la menuiserie et des grilles de ventilation (1), (2) et (3)
- Raccords entre le vitrage, les grilles de ventilation, les panneaux opaques et la menuiserie,... (4)
- Etanchéité à l'air entre ouvrant et dormant et entre menuiserie et façade (5) et (6)



Les facteurs de performance

On trouvera ci-dessous la définition des différents facteurs permettant d'exprimer les performances des fenêtres en matière d'isolation thermique et d'apports solaire et lumineux.

La valeur U (k)

L'isolation thermique s'exprime par le coefficient de transmission thermique k (W/m^2K) ou, dans le cadre de la normalisation européenne, par le symbole U (W/m^2K).

La valeur U(k) d'une fenêtre dépend non seulement du coefficient de transmission thermique du vitrage lui-même mais aussi du coefficient de transmission thermique du châssis et des effets de bords dus aux intercalaires des vitrages multiples.

Le Facteur Solaire Absolu (FSA)

Le facteur solaire absolu FSA ou transmission d'énergie totale, indique la fraction du rayonnement solaire incident pénétrant dans l'ambiance intérieure sous forme de chaleur. Cette grandeur prend non seulement en compte les gains solaires directs (rayonnement à courte longueur d'onde), mais aussi la fraction du rayonnement incident absorbée par le vitrage et transmise à l'ambiance intérieure par échanges convectif et radiatif.

Le Facteur Lumineux Absolu (FLA)

Le facteur de transmission lumineuse absolu FLA est la fraction de la densité de rayonnement lumineux incident qui traverse le vitrage. Ce facteur prend non seulement en compte la distribution énergétique spectrale du rayonnement solaire mais aussi la sensibilité spectrale de l'œil humain.

4

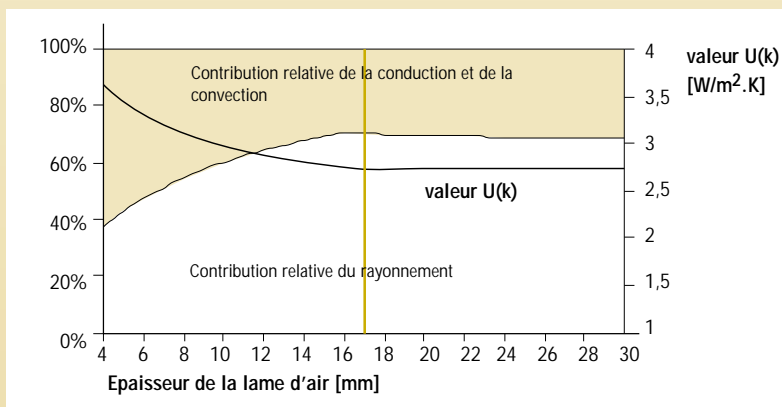
Les solutions

4.1 Vitrages

4.1.1 Isolation thermique

Le pouvoir isolant d'une fenêtre dotée d'un vitrage simple n'est déterminée qu'en très faible partie par la résistance thermique de la couche de verre, la résistance aux échanges de chaleur entre les surfaces et les ambiances jouant un rôle prépondérant.

L'influence de l'épaisseur du verre étant négligeable, l'amélioration des propriétés d'isolation thermique exige une autre approche. L'ajout d'une couche d'air close est une première possibilité : en plaçant deux panneaux de verre à une certaine distance l'un de l'autre et en introduisant de l'air sec dans l'espace ainsi créé, on améliore sensiblement l'isolation thermique du vitrage.



Le vide ne règne pas dans la lame séparant les feuilles de verre d'un double vitrage. Cet espace est rempli d'air maintenu sec afin d'éviter les problèmes de condensation.

Le transfert de chaleur dans la lame d'air se fait par conduction, par rayonnement et, dans le cas d'une lame plus large, également par convection. La figure suivante indique la part relative du transfert de chaleur par conduction/convection et par rayonnement ainsi que la valeur $U(k)$, pour une lame d'air de 4 à 30 mm d'épaisseur. On constate que la valeur $U(k)$ ne s'améliore plus dès que l'épaisseur de la lame dépasse 16 mm, ceci en raison des mouvements convectifs de l'air qui y apparaissent.

Dans le cas du double vitrage comportant une lame d'air sec, il est impossible d'obtenir une valeur $U(k)$ inférieure à 2,6 $W/m^2.K$. Des valeurs $U(k)$ plus basses peuvent être atteintes en créant des lames d'air supplémentaires : un vitrage quadruple comportant trois lames d'air de 10 mm a une valeur $U(k)$ d'environ 1,3 $W/m^2.K$. Cependant, ce type de solution présente le double désavantage d'une épaisseur importante (46 mm) et d'un poids élevé (40 kg/m^2).

Une autre solution pour réduire la valeur $U(k)$ du vitrage est de limiter le transfert de chaleur dans la lame d'air en utilisant des surfaces à

faible facteur d'émission dans le domaine de l'infrarouge et en remplissant le creux avec des gaz plus isolants que l'air :

- en appliquant sur du verre flotté une pellicule métallique transparente ultra-mince (couche basse émissivité), l'industrie du verre a réussi à obtenir des vitrages dont les propriétés thermoréfléchissantes sont comparables, voire supérieures à celles d'une bonne feuille d'aluminium réfléchissante, tout en conservant une grande transparence.

Ces couches basse émissivité sont constituées soit d'un métal précieux multicouche vaporisé (en général de l'argent), soit d'un film semi-conducteur (SnO_2 :F, par exemple) appliqué par déposition pyrolytique;

- en remplaçant l'air sec par un gaz plus isolant et plus visqueux tel l'argon ($\lambda = 0,017 \text{ W/m.K}$) ou le krypton ($\lambda = 0,009 \text{ W/m.K}$ à 10°C), la conduction et la convection diminuent de manière considérable.

Le krypton offre des performances bien meilleures que l'argon, mais son coût est extrêmement élevé et il n'est en outre disponible qu'en quantités limitées.

Aujourd'hui, un double vitrage doté d'une couche basse émissivité et d'une lame d'argon de 15 mm peut présenter une valeur $U(k)$ proche de $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ au centre du panneau, ce qui représente une amélioration de plus de 50 % par rapport à la valeur $U(k)$ d'un double vitrage ordinaire.

TYPE DE VITRAGE	Valeur $U(k)$ centrale ($\text{W/m}^2\text{K}$)	FSA (-)	FLA (-)
Vitrage simple	5,7	0,85	0,90
Double vitrage, lame d'air (4-12-4 mm)	2,9	0,75	0,80
Double vitrage 'haut rendement' (4-15-4 mm)	1,1	0,60	0,75
Triple vitrage, lames d'air (4-6-4-6-4 mm)	2,3	0,65	0,77

Remarque : on parle de double vitrage "haut rendement" lorsque la valeur $U(k)$ centrale est inférieure à $2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ce double vitrage 'haut rendement' est disponible à des prix très compétitifs sur le marché belge et supplante progressivement le double vitrage ordinaire dans les habitations, les bureaux et les écoles.

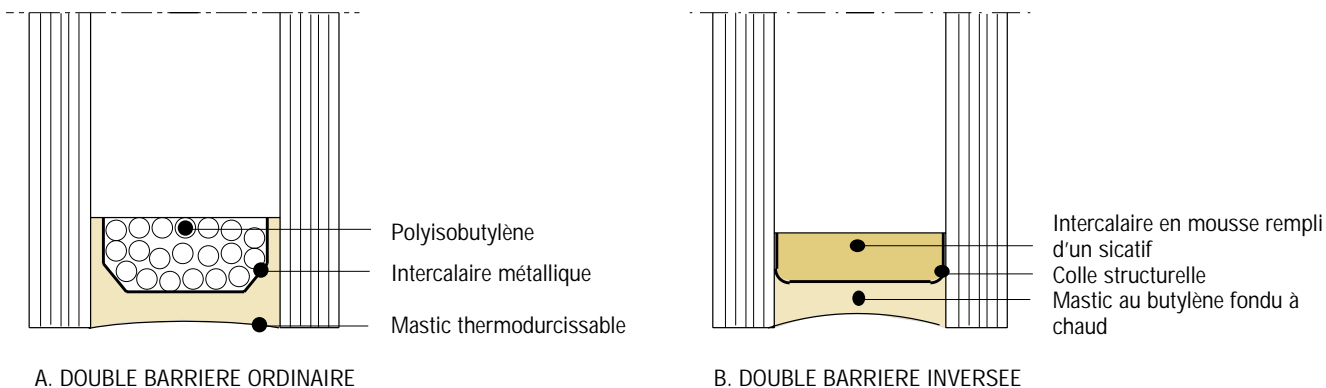
Les valeurs $U(k)$ évoquées ci-dessus ne concernent que la partie centrale du vitrage et non la zone périphérique. Au pourtour du vitrage double, triple, ..., des intercalaires sont en effet nécessaires.

Un exemple typique d'intercalaire est présenté à la figure suivante (A). En raison de l'effet de pont thermique créé par l'intercalaire, la valeur $U(k)$ totale de la fenêtre va donc augmenter.

Selon la norme NBN B62-002, une fenêtre ordinaire munie d'un double vitrage amélioré ayant une valeur $U(k)$ centrale de $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ et

d'une menuiserie en bois d'une valeur $U(k)$ de $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ présente une valeur $U(k)$ moyenne de $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, lorsqu'on utilise des intercalaires métalliques classiques, et de $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ si l'intercalaire a une isolation thermique d'une valeur équivalente à celle de la lame d'air (exemple à la figure B).

Le remplacement de l'intercalaire classique par une solution thermiquement plus isolante est donc certainement intéressant du point de vue énergétique.



A. DOUBLE BARRIERE ORDINAIRE

B. DOUBLE BARRIERE INVERSEE

D'autres problèmes se posent toutefois : l'intercalaire doit conserver une étanchéité parfaite suffisamment longtemps et pouvoir reprendre les contraintes dues aux écarts de température sur les différents panneaux de verre, aux variations de la pression atmosphérique, ...

Outre les aspects liés aux économies d'énergie, une augmentation du pouvoir isolant des vitrages entraîne également une augmentation des températures de surfaces intérieures avec pour conséquences :

- une diminution des risques de condensation;
- un confort thermique accru.

A titre d'exemple, pour une température extérieure de 0°C et une température intérieure de 20°C, la température de surface intérieure d'un vitrage simple, d'un double vitrage ordinaire et d'un double vitrage 'haut rendement' performant s'élèvera respectivement à environ 6°C, 13°C et 17°C.

On peut en conclure que le vitrage simple présentera un risque de condensation majeur et que le double vitrage 'haut rendement' garantira, grâce à une température de surface sensiblement plus élevée, une amélioration appréciable du confort thermique.

La température ambiante est un paramètre fondamental dans la détermination du confort thermique d'un individu. En règle générale, on peut estimer que la température perçue par un individu dépend à 50% de la température de l'air et à 50% de la température des surfaces qui l'entourent. Ceci peut expliquer la sensation d'inconfort ressentie face à une surface froide telle une fenêtre peu isolée en hiver et illustre l'intérêt sur le plan du confort d'un vitrage thermiquement performant

Quelques considérations économiques...



Le double vitrage 'haut rendement' coûte bien évidemment plus cher que le double vitrage ordinaire. Son utilisation peut néanmoins se révéler rentable comme le montre l'exemple suivant...

Calcul de la rentabilité d'un investissement...

La rentabilité d'un investissement, en l'occurrence le surcoût occasionné par le choix d'un double vitrage 'haut rendement', peut être évaluée en comparant le montant de cet investissement à l'économie qu'il permettra de réaliser. Il convient toutefois de comparer l'investissement effectué aujourd'hui et les économies réalisées dans le futur sur une base économique équivalente.

Ainsi, si l'investissement consenti engendre une économie d'énergie de chauffage de ΔC kWh/an, si le coût supposé de l'énergie de chauffage est de E BEF/kWh, si l'on estime l'inflation ou l'augmentation du coût de l'énergie à i % et le taux d'intérêt de l'argent épargné à t % par an, l'économie réalisée sur une période de N années exprimée en francs d'aujourd'hui s'élève à :

$$\frac{\Delta C \cdot E}{(t - i)} \cdot \left[1 - \left(\frac{1 + i}{1 + t} \right)^N \right] \text{ [BEF]}$$

Si l'augmentation du coût de l'énergie ou l'inflation sont égaux aux taux d'intérêts ($i=t$), l'économie réalisée est tout simplement égale à :

$$\Delta C \cdot E \cdot N \cdot (1 + i) \text{ [BEF]}$$

Cas du double vitrage 'haut rendement'...

En Belgique, une fenêtre équipée de double vitrage 'haut rendement' permettra typiquement une économie d'énergie nette de 40 à 90 kWh/m² de vitrage par rapport à la même fenêtre équipée de double vitrage ordinaire.

En faisant l'hypothèse d'une durée de vie des vitrages de 20 ans, d'un coût de l'énergie de chauffage de 2 BEF/kWh, d'une augmentation du coût de l'énergie de 2% par an et de taux d'intérêts de 5% par an, le choix d'un double vitrage 'haut rendement' performant permet de gagner de 1.200 à 2.600 BEF/m². Compte tenu d'un surcoût inférieur à 1.000 BEF/m², le double vitrage 'haut rendement' s'avère être un choix économiquement justifié (coûts 1997).

4.1.2 Apports solaires et lumineux

Comme nous l'avons déjà vu plus haut, la fenêtre est appelée à jouer des rôles contradictoires en matière de gestion des apports solaires : pour pouvoir bénéficier au maximum des gains solaires en hiver, il est nécessaire que les vitrages présentent un facteur solaire absolu (FSA) le plus élevé possible ; en revanche, il convient de limiter les gains énergétiques, et donc le FSA, en situation estivale afin d'éviter les problèmes de surchauffe des locaux. On distingue cependant une exigence commune aux situations hivernales et estivales : la maximisation des apports lumineux.

De nos jours, d'importants efforts de recherche sont effectués afin de développer des vitrages dont les caractéristiques pourraient être adaptées en fonction des conditions climatiques et des besoins des occupants ; de tels types de vitrages 'actifs' ne seront cependant pas disponibles sur le marché avant plusieurs années.

Jusqu'il y a peu, l'offre en matière de vitrages de contrôle solaire se limitait aux classiques vitrages 'anti-solaires' dont la caractéristique principale est de présenter un FSA réduit dans une mesure plus ou moins importante. Ces vitrages, le plus souvent montés en configuration double, présentent une feuille de verre extérieure absorbante ou réfléchissante. L'incorporation d'oxydes métalliques au verre permet de limiter la transmission solaire et les feuilles de verres ainsi produites absorbent une plus grande fraction du rayonnement solaire. Tant les vitrages clairs qu'absorbants peuvent être recouverts de *coatings* augmentant leur pouvoir réfléchissant. Il est à noter qu'il est en général possible et même souhaitable, tant pour les performances d'hiver que celles d'été, de combiner pour un même double vitrage des

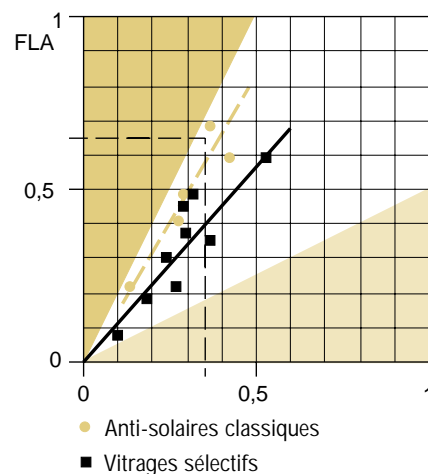
propriétés de contrôle solaire et des caractéristiques d'isolation de type 'haut rendement'.

Un inconvénient majeur des vitrages anti-solaires classiques est qu'ils limitent dans une même mesure les apports énergétiques et les apports de lumière du jour : un contrôle solaire relativement efficace ne peut donc être réalisé qu'au prix d'une dégradation considérable et surtout permanente des propriétés de transmission lumineuse.

Il existe depuis peu en Belgique des vitrages dits "sélectifs" combinant un faible facteur FSA et un facteur FLA relativement élevé (par exemple FSA = 35% et FLA=65%). Ces vitrages qui favorisent les apports lumineux sont quasiment à la limite des caractéristiques physiquement réalisables. Ces propriétés sont obtenues grâce à des *coatings* sélectifs transmettant une part assez importante du rayonnement visible (65%) et une part négligeable du rayonnement non-visible (quelques pour-cents tout au plus).

Le tableau suivant illustre la gamme de caractéristiques réalisables à l'aide de quelques vitrages anti-solaires classiques et sélectifs disponibles sur le marché.

En conclusion, les vitrages anti-solaires permettent de réduire les apports solaires mais dans une mesure trop faible pour résoudre seuls les problèmes de surchauffe, à moins d'opter pour des vitrages avec une transmission énergétique extrêmement basse mais qui pénalisent alors de façon majeure les apports de lumière du jour. Les nouveaux vitrages sélectifs constituent un progrès considérable dans ce domaine et pourraient, combinés par exemple à une protection solaire extérieure, constituer une solution efficace aux problèmes de surchauffe.



VITRAGE	FSA (-)	FLA (-)
Anti-solaires classiques	0,1...0,7	0,1...0,7
Vitrages sélectifs	0,15...0,35	0,20...0,65

4.1.3 Acoustique

4.1.3.1 Classification des performances des vitrages (documentation technique)

La protection acoustique qu'offre une fenêtre dépend du type de bruit observé dans l'environnement extérieur. Ainsi un même vitrage présentera-t-il des performances différentes selon que l'on considère la protection contre les bruits dus au trafic urbain lent (bruits de basses fréquences produits par les moteurs des automobiles et camions) et ceux dus, par exemple, au trafic autoroutier (bruits de roulement de plus hautes fréquences). On notera au passage que les performances acoustiques des vitrages sont en général inférieures dans le second cas.

Le choix de vitrages adéquats s'appuiera de préférence sur les indications "univaleurs" fournies par les fabricants⁽¹⁾ dans leur documentation technique; ces indications permettent d'évaluer les performances du vitrage en fonction du type du bruit rencontré.

Une indication "univaleur" se présente, par exemple, sous la forme suivante :

$R_W (C;C_{Tr}) = 36 (0;-5) \text{ dB}$. Le tableau ci-dessous illustre comment cette indication peut-être interprétée afin de connaître les performances acoustiques du vitrage en fonction du type de bruit (une valeur plus élevée indique un niveau de performances supérieur):

4.1.3.2 Aperçu des performances de différents types de vitrages

L'analyse des performances des différents types de vitrage démontre que le vitrage simple se comporte globalement mieux que le vitrage double (en particulier pour le bruit de basses fréquences) pour une épaisseur équivalente de verre : un simple vitrage de 8 mm est en effet plus performant qu'un double vitrage de 2 x 4 mm.

Les exigences thermiques nécessitent cependant l'utilisation du double vitrage. La faiblesse acoustique des doubles vitrages réside dans le fait que la lame d'air est trop petite (on observe un phénomène de résonance entre les "masses" des feuilles de verre à cause de l'effet "ressort" de la lame d'air étroite).

Pour les double vitrages, les possibilités d'amélioration sont l'utilisation :

- de verres d'épaisseur plus importante;
- d'épaisseurs de verre différentes pour une même épaisseur totale;
- d'une lame d'air plus large;
- de gaz spécial acoustique dans la lame;
- de vitrages feuilletés.

⁽¹⁾ Le système de classification présenté ici est entré en vigueur en décembre 1996 et n'est par conséquent pas encore appliqué dans toutes les documentations techniques à ce jour.

Type de bruit	Classification des performances selon...
Bruit de chemin de fer rapide / Trafic rapide (vitesse > 80 km/h)	R_W+C [dB] (dans l'exemple $R_W+C=36+0 \text{ dB}=36 \text{ dB}$)
Trafic de ville / Chemin de fer lent / Bruit d'avion	R_W+C_{Tr} [dB] (dans l'exemple $R_W+ C_{Tr} =36+(-5) \text{ dB}=31 \text{ dB}$)

La dénomination "vitrage acoustique" dans la documentation technique des fabricants porte sur les vitrages qui ont été améliorés en recourant à l'une ou plusieurs des techniques évoquées ci-dessus⁽²⁾.

Entre le bas de gamme et le haut de gamme de l'isolation acoustique pour les doubles vitrages la différence peut atteindre **10 dB**, ce qui est considérable. Le tableau suivant donne un aperçu des performances acoustiques de quelques vitrages courants.

Pour obtenir une isolation acoustique très élevée aux bruits aériens ($R_W + C_{tr} > 45$ dB), l'utilisation de doubles fenêtres, avec une cavité minimum de 60 mm (et de préférence plus) est conseillée.

L'isolation acoustique aux bruits aériens que l'on peut atteindre dépend (en considérant une exécution correcte) de :

- la largeur de la cavité;
- la présence d'une couche absorbante dans le jour de la baie;
- le choix des vitrages.

⁽²⁾ Il est nécessaire d'adapter la menuiserie au poids et aux dimensions du vitrage acoustique.

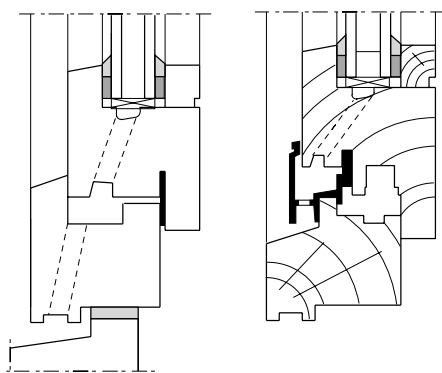
4.2 Les châssis

4.2.1 Isolation thermique

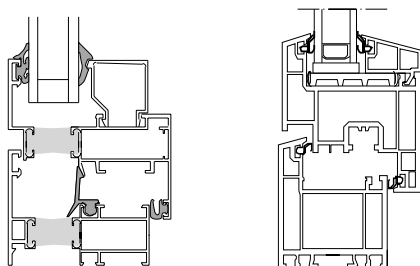
Le bois étant un matériau disposant à l'origine de bonnes performances thermiques, l'évolution la plus marquante s'est produite dans la conception des profilés en PVC et en aluminium. L'utilisation de profilés multichambres et des coupures thermiques pour l'aluminium ont ainsi permis de nettes améliorations du coefficient de transmission thermique de ces châssis.

Les figures suivantes donnent un aperçu de coupes de châssis bois, PVC et aluminium à coupure thermique.

Description	Composition [mm]	Gaz de remplissage / couches feuilletées	$R_W(C;C_{tr})$ [dB]	R_W+C [dB]	R_W+C_{tr} [dB]
Simple vitrage	4		31(-2;-3)	29	28
	8		34(-1;-2)	33	32
Double vitrage	8-12-4	Air sec	36(-2;-5)	34	31
	4-12-4		30(-1;-4)	29	26
Vitrage haut rendement	4-12-4	Argon	30(-1;-4)	29	26
Vitrage acoustique	6-12-4 (G)	Gaz spécial	36(-2;-7)	34	29
	10-12-6 (G)	Gaz spécial	40(-2;-5)	38	35
	8-15-44.1 (G)	Gaz spécial /verre feuilleté	46(-3;-8)	43	38



Bois



PVC

Alu à coupure thermique

La norme NBN B62-002 donne des valeurs $U_{ch}(k_{ch})$ forfaitaires qui représentent la limite supérieure des coefficients de transmission thermique des châssis pour les différentes familles.

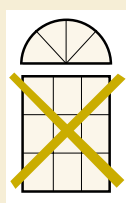
On utilisera de préférence des valeurs mesurées qui conduisent le plus souvent à des valeurs $U_f(k_f)$ inférieures. Les valeurs forfaitaires de la norme sont reproduites en annexe ainsi que des valeurs de coefficients de transmission thermique $U_f(k_f)$ de fenêtres complètes. Le tableau suivant donne un aperçu des ordres de grandeur des valeurs normalisées

	U vc (kvc) [W/m².K]	PVC multichambres sans renforts métalliques	BOIS, PVC multichambres avec renforts	PUR, PVC mono-chambre...	ALU avec coupure thermique	ALU sans coupure thermique
		U _{ch} (k _{ch}) [W/m².K]				
Simple vitrage	5.7	4.4	4.6	4.9	5.2	5.8
Double vitrage ordinaire	2.8	2.6	2.7	3.0	3.1	3.6
Double vitrage "haut rendement"	1.1	1.4	1.6	1.9	1.9	2.3

□ Valeurs $U_f(k_f)$ pour des fenêtres complètes (dimensions forfaitaires suivant la formule simplifiée de la norme – voir Annexe 1-); les valeurs $U_{ch}(k_{ch})$ des châssis sont représentatives des ordres de grandeurs rencontrés dans la NBN B62-002

$U_{ch}(k_{ch})$ et de leur influence sur la valeur $U_f(k_f)$ de fenêtres complètes pour différents types de vitrages.

On notera que les performances énergétiques des châssis dépendent également de leur étanchéité (on se reportera à ce sujet aux chapitres traitant des aspects techniques).



Fenêtre et disposition du vitrage

Lorsque l'on recourt à du double vitrage amélioré, la présence du châssis a pour effet de dégrader les performances thermiques des fenêtres. On veillera dès lors à éviter les configurations de vitrages qui augmentent la proportion de châssis et le périmètre d'intercalaire.

4.2.2 Influence du type de châssis sur l'isolation acoustique

Etanchéité des châssis

Le manque d'étanchéité à l'air (joints de fermeture, quincaillerie) constitue une cause fréquente de problèmes acoustiques. Les défauts d'étanchéité ont pour conséquence le passage du bruit de moyenne et haute fréquence.

Choix des matériaux

Lorsque la surface totale du châssis (la partie visible coté source de bruit) reste petite par rapport à la surface vitrée (inférieure à 10 %, ce qui est rarement le cas dans les habitations), le matériau (aluminium, bois, PVC) utilisé pour le cadre n'aura que peu d'influence sur les performances acoustiques dans le cas d'une exécution correcte.

Dans le cas inverse, la performance sera meilleure :

- plus la surface du châssis exposé aux bruits sera faible;
- plus la masse surfacique du châssis sera importante.

4.3 Protection solaire

La protection solaire est aujourd'hui le dispositif le plus efficace pour lutter contre la surchauffe des locaux en période estivale; elle présente en effet les avantages suivants :

- Elle confère à la fenêtre des propriétés variables : levée en hiver, elle permet de profiter des gains solaires pour chauffer l'habitation, abaissée en été, elle limite les apports solaires pour éviter la surchauffe;
- Elle permet de contrôler l'éblouissement.

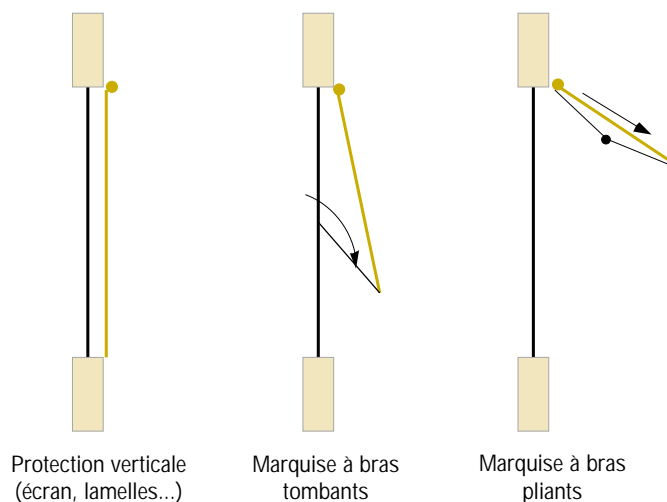
Il convient avant tout de distinguer les protections solaires extérieures et intérieures : les protections solaires intérieures sont certes efficaces pour contrôler l'éblouissement mais présentent des performances médiocres quant à la limitation des apports solaires (voir encadré).

Pourquoi une protection solaire extérieure est-elle plus performante qu'une protection intérieure ?

La protection solaire absorbe, réfléchit (et transmet dans certains cas) le rayonnement solaire incident. Lorsque la protection solaire se trouve du côté extérieur du vitrage, celle-ci arrête les rayons incidents et l'échauffement de la protection n'a que peu d'influence sur le climat intérieur.

En revanche, dans le cas d'une protection solaire intérieure, les rayons solaires sont interceptés lorsqu'ils ont déjà pénétré dans le bâtiment; l'efficacité de la protection solaire intérieure est donc limitée à la proportion de rayons incidents réfléchis et effectivement transmis vers l'extérieur à travers le vitrage

En matière de protections solaires extérieures, on peut distinguer les principales familles de produits suivantes :



Les protections verticales, si elles sont en général les plus performantes en matière de contrôle solaire, présentent l'inconvénient de réduire considérablement -et parfois totalement- la visibilité à travers la fenêtre. Les marquises quant à elle permettent de maintenir le contact visuel avec l'extérieur mais n'arrêtent que le rayonnement solaire direct.

Il existe également des protections solaires de type "intégrées" dont l'élément occultant est disposé entre les feuilles de verre d'un double vitrage et qui sont le plus souvent utilisées pour des applications non-résidentielles. Les performances de ce type de protection se situent entre celles des protections intérieures et extérieures.

Il est important de préciser que les performances des protections solaires dépendent de façon significative du vitrage auquel elles sont associées. Ainsi, un écran extérieur sera-t-il moins efficace lorsqu'il équipe un vitrage simple que lorsqu'il est associé à un double vitrage "haut rendement" (un vitrage isolant constitue en effet une barrière thermique efficace vis à vis de la lame d'air chaude située entre la protection et le vitrage).

Le tableau ci-dessous donne des valeurs de facteur solaire absolu (FSA) mesurées pour des écrans intérieurs et extérieurs ainsi que pour une marquise équipant du double vitrage "haut rendement". Ces valeurs donnent un aperçu des ordres de grandeurs relatifs des FSA des différentes familles; les valeurs rencontrées en pratique dépendront du type particulier de protection solaire, du type de vitrage et de la mise en oeuvre.

Type de protection (et vitrage)	FSA
Écran intérieur + Double vitrage "haut rendement"	-0,40
Écran extérieur + Double vitrage "haut rendement"	-0,10
Marquise + Double vitrage "haut rendement"	-0,10...0,15

Outre les aspects liés aux caractéristiques physiques des protections solaires, les performances de ces dernières seront considérablement influencées par leur mode de contrôle. Deux solutions sont offertes au consommateur à savoir la commande manuelle ou la commande automatisée. Un système de contrôle manuel sera choisi pour des raisons de coût ou si les locaux à protéger sont occupés en permanence, l'occupant pouvant prendre soin d'abaisser les protections lorsque cela s'avère nécessaire.

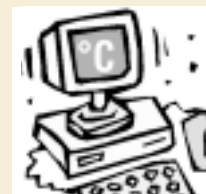
Les systèmes de contrôle automatiques les plus courants sont basés sur la mesure de deux paramètres climatiques (les mesures sont effectuées à l'aide de petits capteurs placés, par exemple, sur la façade protégée) :

- L'ensoleillement : lorsque celui-ci dépasse un niveau donné, les protections solaires sont automatiquement abaissées;
- La vitesse du vent : lorsque celle-ci dépasse un niveau donné, les protections solaires sont remontées afin d'éviter toute dégradation mécanique.

Un contrôle automatique des protections solaires présente l'avantage de garantir le confort intérieur, même en l'absence des occupants de l'habitation et permet d'éviter, par exemple, des températures intérieures trop élevées après un après-midi d'absence.

Quelle température fera-t-il ...?

Lorsque l'on envisage de placer une protection solaire, ou de façon plus générale lorsque l'on tente de résoudre un problème de surchauffe, la question la plus fréquemment posée est bien évidemment de savoir "quelle température fera-t-il si je choisis tel ou tel type de protection ?"

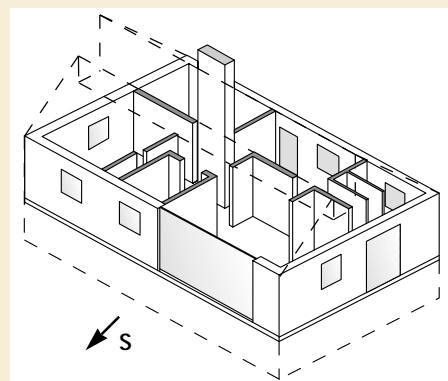


Il est impossible de donner une réponse générale à cette question : chaque bâtiment est différent et présente une surface vitrée, une orientation et une occupation qui lui sont propres et la prédiction des niveaux de température que l'on rencontrera requiert la mise en oeuvre de moyens de calcul élaborés.

L'objectif de l'exemple suivant est d'illustrer pour un cas pratique les performances relatives de protections solaires extérieures et intérieures.

Le bâtiment envisagé est une maison unifamiliale bien isolée dont la conception est typique de l'architecture "solaire passive" des années '80 avec d'importantes surfaces vitrées orientées au Sud (on trouve par exemple dans le living une dizaine de m² de double vitrage orientés plein Sud).

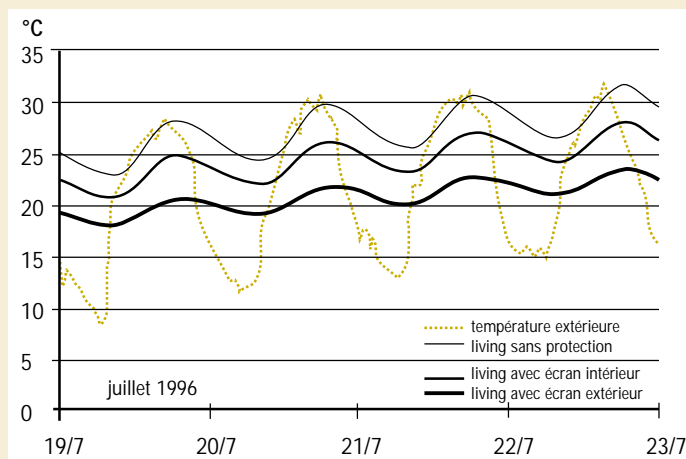
Des mesures détaillées ont été effectuées dans le bâtiment et sur les protections solaires étudiées afin d'en définir précisément les caractéristiques physiques.



Sur la base de ces caractéristiques et des mesures climatiques, il a été possible de déterminer ce qu'auraient été les niveaux de température dans le bâtiment sans protections solaires (FSA du vitrage = 0.60), avec des écrans intérieurs (FSA=0.38) et des écrans extérieurs (FSA=0.08).

Les courbes de températures extérieure et intérieure sont présentées à la figure suivante.

On peut constater que pour la période considérée, l'absence de protection solaire conduit à des niveaux de température inacceptables; l'application d'une protection solaire intérieure améliore la situation initiale sans pour autant résoudre le problème de surchauffe alors que la protection solaire extérieure garantit de bonnes conditions de confort thermique.



4.4 Volets roulants

Le volet roulant est un système de fermeture, de protection et d'occultation des baies de façade, formé par un tablier extérieur rigide ou semi-rigide pouvant être enroulé dans un logement au-dessus de la baie. Traditionnellement, les fenêtres de nos régions étaient équipées de volets le plus souvent roulants ; cette pratique est de nos jours de moins en moins envisagée en raison de l'évolution des choix architecturaux et de l'amélioration des caractéristiques techniques des vitrages modernes.

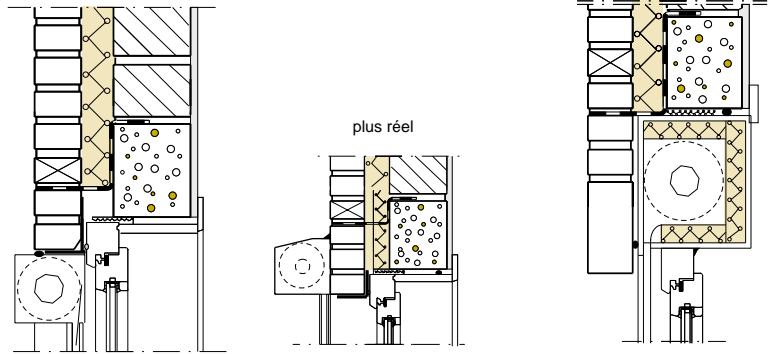
4.4.1 Isolation thermique

L'influence d'un volet roulant sur le niveau d'isolation d'une fenêtre sera d'autant plus limitée que la fenêtre sera thermiquement performante : ainsi, un volet roulant relativement étanche confère à une fenêtre équipée de vitrage simple un niveau d'isolation proche de celui d'une fenêtre munie de double vitrage ordinaire. A l'inverse, le même volet roulant aura un impact marginal sur le niveau d'isolation d'une fenêtre équipée de double vitrage "haut rendement". Il est à noter que l'étanchéité à l'air du volet roulant aura une grande influence sur sa capacité à augmenter le niveau d'isolation d'une fenêtre.

	$U_f(k_f)$ sans volet [W/m ² .K]	$U_f(k_f)$ avec volet [W/m ² .K]
x ₁	5,5	1,9 ... 2,7
x ₂	2,5	1,4 ... 1,7
x ₃	1,5	1,0 ... 1,2

x₁ : fenêtre à vitrage simple
x₂ : fenêtre à double vitrage
x₃ : fenêtre à double vitrage "haut rendement"

En ce qui concerne la caisse à volet, les figures suivantes illustrent deux possibilités de mise en oeuvre.



Caisse à volet extérieure

- Réduit les apports de lumière naturelle
- Ne pose pas de problème d'isolation ou d'étanchéité
- Applicable dans les cas de rénovation

Caisse à volet intégrée

- Ne réduit pas les apports de lumière naturelle
- Plus grand soin à apporter à l'isolation et l'étanchéité à l'air et à l'eau

4.4.2 Apports solaires

En matière de limitation des apports solaires, les volets roulants présentent des caractéristiques physiques comparables à celles des protections solaires extérieures. On notera cependant que les volets roulants suppriment tout contact visuel avec l'extérieur.

4.5 Fenêtres et ventilation

L'obtention d'une bonne qualité de l'air est une condition de base pour un climat intérieur sain et agréable. Une ventilation optimale nécessite :

- une bonne étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment afin d'éviter les pertes thermiques incontrôlées par infiltration naturelle ;

- un système de ventilation de base qui assure la ventilation hygiénique des locaux ;
- la possibilité de ventiler de manière intensive si nécessaire.

Les fenêtres peuvent jouer un rôle dans ces trois aspects de la ventilation des logements.

4.5.1 Etanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment

De manière générale, l'on peut dire que, lorsqu'elles satisfont aux normes en vigueur, les fenêtres ne constituent pas un défaut d'étanchéité majeur de l'enveloppe du bâtiment. Une étude a montré qu'en moyenne, elles représentaient moins de 10% de l'ensemble des fuites présentes dans une habitation belge typique.

4.5.2 La ventilation de base

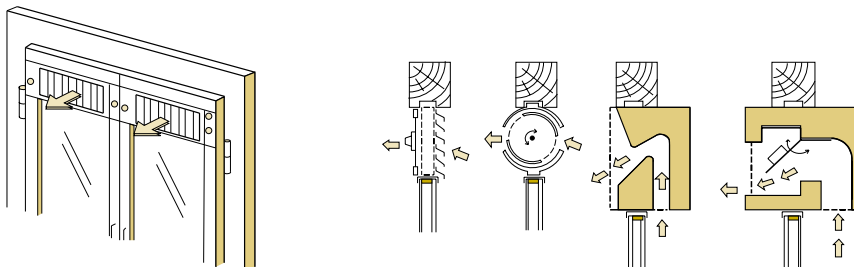
L'amenée d'air dans l'habitation peut s'opérer de manière naturelle ou mécanique. Lorsqu'elle est naturelle, l'ouverture d'amenée d'air doit être placée dans une paroi extérieure, dans un châssis de fenêtre ou dans une porte extérieure. Son ouverture doit être réglable (manuellement ou automatiquement) de manière continue ou via au moins trois positions intermédiaires entre la position 'fermée' et 'complètement ouverte'.

La norme belge NBN D50-001 définit la surface d'ouverture nécessaire en fonction du type de local et de sa superficie.

4.5.3 La ventilation intensive

Dans certaines circonstances, il peut être souhaitable, voire indispensable, de ventiler bien plus que ce que ne permettent les dispositifs de base : en cas de températures intérieures trop élevées en été, pendant des travaux de peinture, etc.

Pour assurer la ventilation nécessaire, la norme NBN D50-001 exige la présence de fenêtres ouvrantes et/ou de portes extérieures dans presque toutes les pièces.



Exemple : Différents types d'ouverture d'amenée d'air à placer dans le châssis de fenêtre

Dans le cas de ventilation unilatérale, c'est-à-dire lorsque la pièce est ventilée par une seule ouverture ou par plusieurs ouvertures disposées dans la même façade, il est exigé que la surface totale des ouvrants soit au moins égale à 6.4% de la surface au sol du local.

Règle simple:
dans les chambres à coucher, il faut en général prévoir une fenêtre ayant un ouvrant de 0.6 à 0.9 m²

Dans le cas de ventilation transversale, c'est-à-dire si la ventilation du local s'opère par plusieurs ouvertures situées dans des façades différentes, il est exigé que la surface totale des ouvrants soit au moins égale à 3.2% de la surface au sol du local (si au moins 40% de l'ouverture requise est présente dans deux façades différentes). La ventilation transversale fournit en effet des débits d'air plus importants que la ventilation unilatérale.

La norme belge n'exige pas que les dispositifs de ventilation intensive offrent une sécurité contre les effractions ni qu'ils soient étanches à la pluie, bien que cela puisse s'avérer utile, par exemple pour la ventilation intensive de nuit.

5

Aspects architecturaux

5.1 Fenêtres et Architecture

5.1.1 Orientation

Une répartition inégale des surfaces vitrées selon les différentes orientations exerce une influence considérable sur les gains solaires. L'orientation des fenêtres vers le sud est thermiquement plus intéressante en raison des gains solaires importants réalisés pendant la saison de chauffe. Typiquement, une répartition de 50 % des fenêtres vers le sud, de 20 % vers l'ouest et l'est et de 10% vers le nord offre une économie d'énergie moyenne de 1,500 kWh par an, par rapport à une répartition égale du vitrage sur les 4 façades. En outre, les fenêtres verticales orientées au sud assurent une meilleure protection contre la surchauffe en été en raison de la position haute du soleil à midi. Globalement, les orientations entre le sud-est et le sud-ouest sont les plus avantageuses. Les grandes surfaces vitrées vers l'est ou l'ouest peuvent entraîner des problèmes de surchauffe des locaux en raison de la position basse du soleil le matin et le soir.

5.1.2 Implantation et localisation

Vu l'importance de l'orientation des surfaces vitrées, il semble tout aussi déterminant d'optimiser la localisation et l'implantation des habitations. En cas de lotissements orientés vers le soleil, l'on essaiera donc de tenir compte au maximum des gains présumés découlant des surfaces vitrées orientées au sud. De

même, lors de l'implantation des blocs d'habitation pour un immeuble à appartements, l'orientation a un impact important sur les éventuelles mesures d'économie d'énergie.

De plus, le choix d'une certaine option pour un lotissement aura des conséquences à très long terme (durée de vie moyenne du lotissement de 250 ans), de sorte qu'une décision judicieuse s'impose.

5.1.3 Inclinaison

Les surfaces vitrées inclinées (fenêtres de toiture, coupoles, toitures de véranda) subissent une grande perte thermique en raison du rayonnement infrarouge vers la voûte céleste. En outre, elles entraînent d'importants gains solaires lorsque la position du soleil est haute en été. Une bonne protection solaire extérieure (écran ou volet mécanique) est dès lors essentielle pour éviter la surchauffe. Les fenêtres de toiture dans les chambres à coucher présentent par exemple l'avantage de permettre une bonne pénétration de la lumière du jour dans la pièce et offrent de bonnes possibilités d'aération par ventilation intensive.

5.1.4 Dimension des surfaces vitrées

L'architecture moderne utilise volontiers de grandes surfaces vitrées dans nos habitations et bâtiments récents. Celles-ci donnent plus de transparence, d'ouverture et de prestige au bâtiment.

En principe, les grandes surfaces vitrées, orientées vers le soleil, sont intéressantes pour récupérer des gains solaires. Dans la pratique, il convient toutefois d'y apporter quelques nuances. En dépit des progrès technologiques récents, le vitrage présente toujours un pouvoir d'isolation nettement inférieur à celui des parties opaques et les pertes par transmission augmentent considérablement lorsqu'on étend la surface vitrée. De même, le solde des gains solaires et des pertes par transmission dans la demande d'énergie annuelle de la maison est encore légèrement négatif, sauf si les châssis sont pourvus de double vitrage "haut rendement" ($U_f(k_f) \leq 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$).

En ce qui concerne les problèmes éventuels de surchauffe en été et de confort thermique en hiver, il convient d'éviter les trop grandes surfaces vitrées, même lorsqu'elles sont orientées au sud.

La pénétration de la lumière du jour sera souvent décisive pour déterminer la dimension des surfaces vitrées. Ici aussi, la modération s'impose : trop de lumière provoque l'éblouissement et un inconfort visuel.

5.1.5 Répartition des locaux et compartimentation

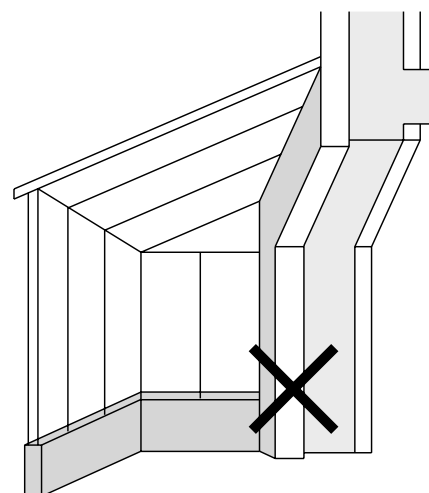
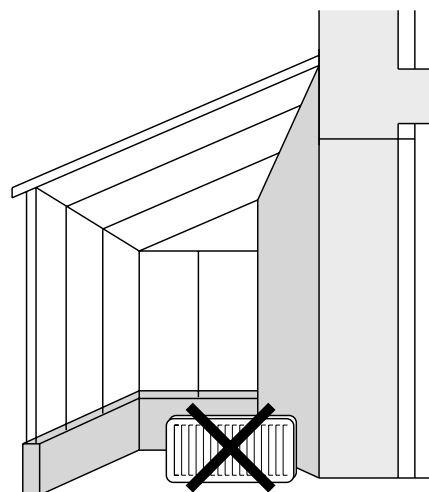
Une bonne répartition des locaux permet de faire un usage optimal de l'orientation de l'habitation et de la distribution des surfaces vitrées sur les différentes façades. D'une manière générale, on orientera de préférence les pièces de séjour et les chambres à coucher au sud et les zones tampons (garage, entrée...) au nord. Une bonne compartimentation permet en outre de maintenir différentes zones de température dans la maison selon leur utilisation.

5.2 Fenêtres et serres/vérandas

Les serres et les vérandas sont l'expression de la fenêtre dans sa forme extrême, transformée en un espace à part entière. La serre est souvent présentée comme une zone tampon ou comme un espace de captation d'énergie solaire; cette affirmation est valable dans la mesure où la véranda n'est pas utilisée comme pièce de séjour permanente, mais uniquement comme extension de l'espace habité lorsque le climat extérieur s'y prête naturellement. Même avec le meilleur vitrage isolant, le pouvoir d'isolation reste insuffisant. Il suffit pour s'en convaincre de comparer une fenêtre équipée de vitrage haut rendement $U(k) = 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ et un mur creux isolé $U(k) = 0.2 \dots 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Si elle est chauffée (directement ou indirectement en ouvrant une porte de communication, par exemple), la véranda représente un poste important dans la consommation d'énergie pour le chauffage.

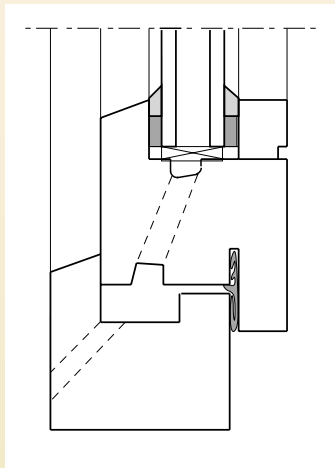
Une liaison ouverte permanente entre la zone d'habitation et la véranda entraîne de grandes pertes d'énergie en hiver et des problèmes de surchauffe en été. Il est dès lors préférable que la véranda soit séparée de la zone d'habitation afin de garantir un bon contrôle des flux thermiques. Lorsqu'en hiver et à la mi-saison, la température dans la serre est supérieure à celle de l'habitation, la mise en communication des espaces peut avoir lieu (extension du living, convection intensive, ou uniquement préchauffage de l'air de ventilation via de petites ouvertures). En été, la serre peut rester fermée afin de prévenir la surchauffe de la zone d'habitation.



Pendant les journées d'été ensoleillées, la température intérieure des vérandas peut atteindre des niveaux extrêmement élevés. La surchauffe peut être évitée par une bonne protection solaire extérieure et une ventilation intensive via de grandes ouvertures.

6

Aspects pratiques



6.1 Performances mécaniques et fonctionnelles

6.1.1 Introduction

Les exigences de base en matière de performances mécaniques et fonctionnelles sont reprises dans les "Spécifications techniques unifiées" STS 52.0 MENUISERIES EXTERIEURES – GENERALITES. Ces exigences ont été traduites en performances d'essais dont les principales sont reprises ci-après.

- La perméabilité à l'air caractérise la quantité d'air maximum qui peut passer à travers les fenêtres en cas de surpression.
- La résistance au vent qui garantit la sécurité et un minimum de confort durant les tempêtes.
- L'étanchéité à l'eau caractérise la pression de vent en dessous duquel il n'y a pas de risque d'infiltration.
- La force de manoeuvre des ouvrants doit permettre une utilisation normale.
- Les ouvrants doivent supporter sans détérioration les abus d'utilisation et les fausses manoeuvres les plus courants.

En plus de ces éléments de base, les châssis doivent, si nécessaire, répondre à des exigences complémentaires portant, par exemple, sur l'installation de grilles de ventilation ou sur la résistance à l'effraction.

Les menuiseries et plus particulièrement la réalisation des joints entre ouvrant et dormant ne permettent qu'exceptionnellement de réaliser une étanchéité avec un seul niveau de joint et impose de ce fait le système de la double barrière illustré à la figure ci-contre par une coupe dans un châssis simple ouvrant en bois.

6.1.2 Principes d'étanchéité des châssis

- *Barrière à l'eau* située du côté extérieur et constituée d'un casse goutte. Cette barrière a pour mission d'empêcher la projection de l'eau directement sur le joint d'étanchéité à l'air.
- *Zones de drainage*. Le drainage de la feuillure sous le vitrage est nécessaire afin de préserver la durabilité de ce dernier. Les zones de drainage sont constituées par un espace suffisamment large pour permettre à quelques gouttes d'eau de tomber sous l'action de la gravité. La conception de la chambre de drainage doit permettre à l'eau provenant de l'extérieur ou du drainage de la feuillure d'atteindre le fond de la zone sans risquer d'être déviées vers le joint d'étanchéité à

l'air. Cette chambre doit être ventilée afin de permettre aux eaux collectées un écoulement aisé par des orifices dimensionnés dans ce but.

- *Barrière à l'air côté intérieur.* Cette barrière est généralement constituée par un joint souple.
- *Zone de pose des quincailleries.* Les quincailleries sont posées derrière le joint d'étanchéité afin d'éviter les risques de corrosion.

Remarque :

Les modalités d'adaptation de ces règles d'étanchéité des châssis de fenêtre peuvent être transposées aux différents types d'ouvrants et aux différents matériaux utilisés à l'exception des châssis coulissants et des châssis pivotants pour lesquels des dispositions particulières peuvent être nécessaires.

6.2 Pose de menuiserie extérieure

La pose influence significativement les performances globales de la menuiserie extérieure.

La mise en place d'une fenêtre nécessite le respect des principes suivants :

- le châssis est posé dans l'axe de la baie; il est posé de niveau et d'aplomb;
- il est fixé au gros-oeuvre de manière à transmettre aux éléments de gros - oeuvre les sollicitations dues :
 - au poids propre;
 - au vent;
 - aux manoeuvres et fausses manoeuvres;
 - aux tentatives d'effractions.

Ces principes sont illustrés à la figure suivante pour le cas d'un châssis posé en battée dans une façade comportant une coulisse.

Le raccord avec le gros-oeuvre doit assurer la continuité des principales fonctions de la façade :

- l'étanchéité à l'eau sera conçue de façon à limiter la pénétration d'eau lors de pluies battantes et à permettre le drainage des eaux d'infiltration et de condensation éventuelles;
- une étanchéité à l'air sera effectuée du côté intérieur;
- les isolants thermique et acoustique seront insérés entre le profilé dormant et le gros oeuvre.

On trouvera des informations plus détaillées dans la N.I.T 188 du CSTC qui spécifie les différentes techniques de pose en fonction des matériaux utilisés.

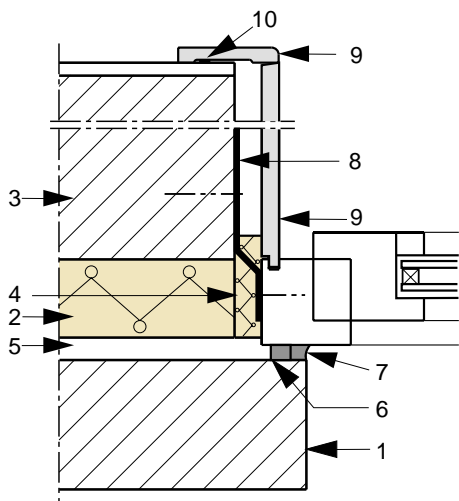


Schéma illustrant les principes de pose d'un châssis en battée dans un mur creux.

1. mur de parement
2. isolant thermique
3. mur porteur
4. isolant de raccordement, si nécessaire
5. lame d'air/drainage
6. préformé à cellules fermées pour fond de joint et isolation de la menuiserie vis-à-vis des maçonneries humides
7. protection extérieure contre les pénétrations
8. fixation mécanique (ancrage, panneau en bois, etc.)
9. étanchéité intérieure à l'air entre cadre dormant et plafond
10. étanchéité à l'air par mousse compressible

6.3 Entretien

6.3.1 Les châssis en bois

La protection et la finition des menuiseries extérieures en bois est régie par les "Spécifications techniques unifiées" STS 52 (édition 1982 et 1994).

En général, ce traitement comprend en fonction des essences et des qualités de bois utilisés, une couche de protection fongicide insecticide et une couche de finition préservant le bois des actions climatiques (dégradation photochimique UV, forte variation des taux d'humidité, lessivage des substances ligneuses du bois, décoloration).

La finition est à entretenir régulièrement si l'on veut conserver l'esthétique et la fonctionnalité du châssis.

Le nettoyage est réalisé par lavage à l'eau éventuellement additionnée de détergents courants.

6.3.2 Les châssis en PVC

Le nettoyage est réalisé par lavage à l'eau éventuellement additionnée de détergents courants, à l'exclusion des solvants chlorés. Il est ensuite conseillé de rincer à l'eau.

Dans le cas d'éraflures et de rayures, on procède à un ponçage avec du papier de verre à granulation dégressive, puis à un lustrage final à la peau de mouton.

Les châssis en PVC ne peuvent pas être peints.

6.3.3 Les châssis en aluminium

Les châssis en aluminium nécessitent un entretien normal consistant en un nettoyage régulier avec de l'eau additionnée de détergents courants, en se conformant à la feuille "Prescriptions d'entretien des Menuiseries en Aluminium Anodisé ou Thermolaqué" de la Belgian Aluminium Association.

Les normes, la réglementation et les agréments techniques

7.1 Les normes

- La détermination des valeurs $U(k)$ du vitrage, de la menuiserie et de la surface vitrée complète doit être effectuée suivant les méthodes décrites dans la norme belge NBN B62-002 et dans les normes similaires.
- La détermination des valeurs FSA et FLA des vitrages est décrite dans les normes européennes et les données des fabricants doivent être conformes à ces méthodes.
- La détermination des valeurs FSA et FLA des systèmes indépendants de protection solaire n'est pas encore définie de façon univoque; des propositions de normes européennes sont en préparation.
- Des recommandations en matière de performances acoustiques sont formulées dans la norme belge NBN S01-400⁹⁾. La détermination de l'isolation acoustique du vitrage se fait suivant la norme EN/ISO 140 et EN ISO 717-1.

⁹⁾ Cette norme est actuellement en cours de révision afin, notamment, d'être adaptée au nouveau système d'indication univaleur de la norme EN ISO717-1

7.2 La législation en Région wallonne

- Les valeurs U_f (k_f) des fenêtres ne peuvent dépasser un niveau maximal ($3,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$). Cette exigence est applicable aux nouvelles constructions (logements, bureaux et écoles) et en cas de remplacement des fenêtres lorsqu'il y a demande de permis de bâtir.
- Le niveau global d'isolation d'un nouveau logement ne peut dépasser un niveau maximal ($K55$). Cette exigence peut être ignorée s'il est démontré que les besoins nets en énergie de chauffage calculés suivant la méthode standardisée ne dépassent pas 450 MJ/m^2 de plancher chauffé par an pour une capacité unitaire.

7.3 Agréments techniques

Pour les systèmes dont toutes les performances ne sont pas décrites, ce qui est fréquemment le cas avec de nouveaux produits, il est possible de demander un agrément technique délivré par l'UBAtc (Union belge pour l'agrément technique dans la construction). Un produit avec agrément technique satisfait à une série d'exigences et garantit à son utilisateur un niveau de performances correct.

Conclusions

Recommandations pour les projets de nouvelles constructions

- L'utilisation des vitrages "haut rendement" réduit les pertes d'énergie de plus de 50% par rapport au double vitrage ordinaire et est économiquement justifiable; ce type de vitrage garantit par ailleurs un confort thermique accru en hiver. Le recours au double vitrage "haut rendement" devrait devenir systématique à l'avenir.
- Les châssis à profilés métalliques sans coupure thermique sont responsables d'importantes pertes de chaleur et présentent des risques de condensation élevés. L'utilisation de ce type de châssis est à proscrire.
- De grandes surfaces vitrées orientées vers le sud permettent de bénéficier en hiver d'apports solaires gratuits. Afin d'éviter des problèmes de surchauffe pendant l'été, l'utilisation d'une bonne protection solaire est nécessaire.
- Des tentures ou tout autre système de protection solaire intérieure permettent de contrôler les apports lumineux mais ne limitent pas suffisamment les apports de chaleur dus au soleil. Une protection solaire extérieure permet

en revanche de contrôler les apports solaires et d'éviter la surchauffe des locaux.

- Si la fenêtre est en contact avec un environnement bruyant (route à trafic intense, trafic aérien, ...) on pourra opter pour un vitrage acoustique en combinaison avec une menuiserie étanche et bien fixée. Dans les cas les plus graves, il est possible de recourir à une configuration en double fenêtre.
- Il est possible de placer des grilles de ventilation dans la menuiserie des fenêtres des chambres et des salles de séjour pour l'amenée d'air de ventilation de base. Ce choix doit être opéré au moment de la conception du bâtiment.
- Le choix d'un système de fenêtre avec agrément technique garantit que les performances de ce système répondent aux exigences en vigueur.

Recommandations supplémentaires pour les cas de rénovation

- Lors du remplacement du vitrage simple, il faut vérifier si le placement du double vitrage est possible dans la menuiserie existante. La réduction des déperditions lors du placement de double vitrage "haut rendement" étant

quasi indépendante du type de châssis, il est judicieux de remplacer le vitrage sans changer la menuiserie si celle-ci présente une étanchéité et un état général satisfaisant.

- En cas de problèmes acoustiques, le remplacement du vitrage par un vitrage acoustique isolant est à envisager. Il est important que l'étanchéité à l'air de la menuiserie soit suffisante et qu'il n'y ait pas de fuites d'air au raccord entre la menuiserie et la maçonnerie. Dans les cas les plus graves, on recourra à une configuration en double fenêtre.

Références

- Choisir une Protection solaire.
Ministère de la Région Wallonne,
DGTRE - Division de l'Energie,
Jambes, 1997.
- CSTC
NIT 188 La pose des menuiseries
extérieures. Bruxelles, 1993.
- CSTC
NIT 143 Volets roulants pour habita-
tions. Bruxelles, 1982.
- Les fenêtres sous l'angle de la phy-
sique du bâtiment, 1 et 2. CSTC-
magazine, Bruxelles, 4^e trimestre
1995 - 1^{er} trimestre 1997.
- IBN
NBN B62-002, Calcul des coefficients
de transmission thermique des parois
des bâtiments. Institut Belge de
Normalisation, Bruxelles, 1987.
- STS 52.0 Menuiseries extérieures .
Généralités.

Annexe 1 - Conventions et terminologie

La valeur U (k)

L'isolation thermique est exprimée, selon les normes NBN B62-002 et NBN B62-004, par le coefficient de transmission thermique k (W/m^2K) ou, dans le cadre de la normalisation européenne, par le symbole U (W/m^2K).

La valeur U_{vc} (k_{vc}) au centre d'un vitrage multiple est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$U_{vc}(k_{vc}) = \frac{1}{R_i + \sum \frac{d_{verre}}{\lambda_{verre}} + \sum R_s + R_e} \quad (W/m^2K)$$

dans laquelle :

R_i et R_e =
résistance thermique d'échange respectivement des surfaces intérieure et extérieure; selon la norme NBN B62-002,
 $R_i = 0,125 \text{ m}^2K/W$ et $R_e = 0,043 \text{ m}^2K/W$

d_{verre} =
épaisseur de chaque feuille de verre (m)

λ_{verre} =
conductivité thermique du verre, égale à 1 W/mK selon la NBN B62-002.

R_s =
résistance thermique de chaque lame d'air ou de gaz

La valeur $U_f(k_f)$ d'une fenêtre dépend non-seulement de la valeur U_{vc} (k_{vc}) au centre du vitrage mais aussi de la valeur U_{ch} (k_{ch}) du châssis et de la valeur U_L (k_L) linéique de l'intercalaire. La valeur $U_f(k_f)$ d'une fenêtre est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$U_f(k_f) = \frac{U_{ch}(k_{ch}) \cdot A_{ch} + U_{vc}(k_{vc}) \cdot A_{vc} + U_{pc}(k_{pc}) \cdot A_{pc} + U_L(k_L) \cdot L}{A_{ch} + A_{vc} + A_{pc}}$$

dans laquelle :

U_{ch} (k_{ch}) =
valeur k du châssis (W/m^2K)

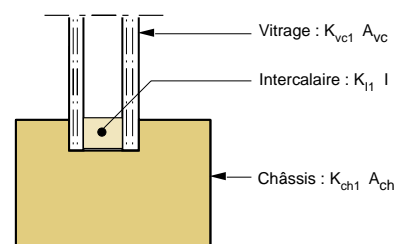
A_{ch} =
superficie du châssis (m^2) - partie visible

$U_{vc,pc}(k_{vc,pc})$ =
valeur k de la partie centrale du vitrage, du panneau opaque (W/m^2K)

$A_{vc,pc}$ =
superficie du vitrage ou du panneau opaque (m^2) - partie visible

$U_L(k_L)$ =
valeur k linéique de l'intercalaire (W/mK)

L =
longueur de l'intercalaire (m)



Les valeurs de U_{ch} (k_{ch}) peuvent être mesurées selon la norme NBN B62-204 ou déterminées à l'aide du tableau 8 de la NBN B62-002 (dont les valeurs sont reproduites à l'Annexe 2 de la présente brochure).

Pour les valeurs U_L (k_L) des intercalaires métalliques, des valeurs forfaitaires sont fournies dans le tableau 9 de la NBN B62-002. Dans le cas de châssis métalliques sans coupure thermique, il n'est pas nécessaire de prendre en compte l'effet des intercalaires. Pour les vitrages multiples montés dans d'autres types de châssis, on prendra $U_L(k_L) = 0,05 \text{ W/m.K}$ ou $0,07 \text{ W/m.K}$ selon que la valeur $U_{vc}(k_{vc})$ centrale du vitrage est supérieure ou inférieure à $2 \text{ W/m}^2.K$.

La valeur moyenne $U_f(k_f)$ des fenêtres d'une habitation ou de petits immeubles à appartement (max. 5 logements) peut être déterminée à l'aide de la formule simplifiée suivante :

Dans le cas des châssis métalliques :

$$U_f(k_f) = 0.75 U_{vc}(k_{vc}) + 0.25 U_{ch}(k_{ch}) + 3 U_L(k_L)$$

Pour les autres types de châssis :

$$U_f(k_f) = 0.70 U_{vc}(k_{vc}) + 0.30 U_{ch}(k_{ch}) + 3 U_L(k_L)$$

Ces formules sont basées sur l'hypothèse que le vitrage occupe en moyenne 70 à 75% de la surface de la fenêtre (selon le type de châssis) et que l'on a en moyenne 3 mètres courants d'intercalaire par m² de vitrage.

Le spectre solaire

La figure ci-dessous représente la distribution spectrale du rayonnement solaire direct et dif-

fus, respectivement par temps clair et par temps nuageux. Une large part du rayonnement solaire nous parvient sous forme de lumière visible. En matière d'éclairage, le soleil est très efficace : par Watt de puissance calorifique, il fournit de 80 à 120 lumens de lumière diffuse et de 50 à 120 lumens de lumière directe, soit environ dix fois plus qu'une lampe à incandescence ordinaire et davantage qu'une installation d'éclairage à tubes fluorescents.

Comme le montre la figure, la partie visible du spectre solaire, c.-à-d. la fraction à laquelle l'oeil humain est sensible, se situe entre 380 et 780 nm. Cette fraction représente environ 50% de l'énergie totale incidente, le reste étant distribué dans le domaine infrarouge (environ 45%) et ultraviolet (environ 5%).

Cela signifie qu'il serait idéalement possible de réduire de moitié les gains énergétiques dus au rayonnement solaire sans limiter les apports de lumière en "filtrant" les rayonnements infrarouge et ultraviolet.

C'est ce principe qui est appliqué dans les vitrages dits *sélectifs*.

Le facteur solaire FSA

Le facteur solaire absolu FSA ou transmission d'énergie totale, indique la fraction de rayonnement solaire incident pénétrant dans l'ambiance intérieure sous forme de chaleur. Cette grandeur prend non seulement en compte les gains solaires directs (Φ_{dir} rayonnement à courte longueur d'onde), mais aussi de la fraction du rayonnement incident absorbée par le vitrage et transmise à l'ambiance intérieure par échanges convectif et radiatif ($\Phi_{add} = \Phi_{ri} + \Phi_{ci}$). Le facteur solaire s'exprime donc comme suit :

$$FSA = \frac{\text{densité du flux total de chaleur transmise}}{\text{densité du flux total de rayonnement solaire incident}}$$

ou

$$FSA = \frac{\Phi_{dir} + \Phi_{add}}{\Phi_{sol}}$$

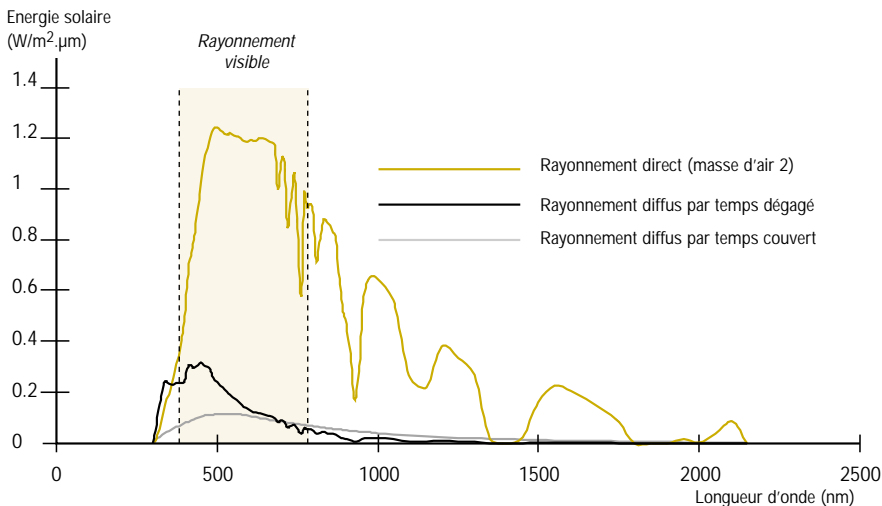
Ce facteur dépend entre autres du type de verre et de son épaisseur, de l'angle d'incidence du rayonnement solaire direct et des échanges de chaleur aux surfaces.

Le facteur solaire absolu équivaut à la valeur g définie dans le nouveau projet de norme européenne prEN 410.

Le facteur lumineux FLA

Le facteur de transmission lumineuse absolu FLA est la fraction de la densité de rayonnement lumineux incident qui traverse le vitrage dans la partie visible du spectre solaire comprise entre 380 et 780 nm :

$$FLA = \frac{\text{densité du rayonnement lumineux transmis}}{\text{densité du rayonnement lumineux incident}}$$

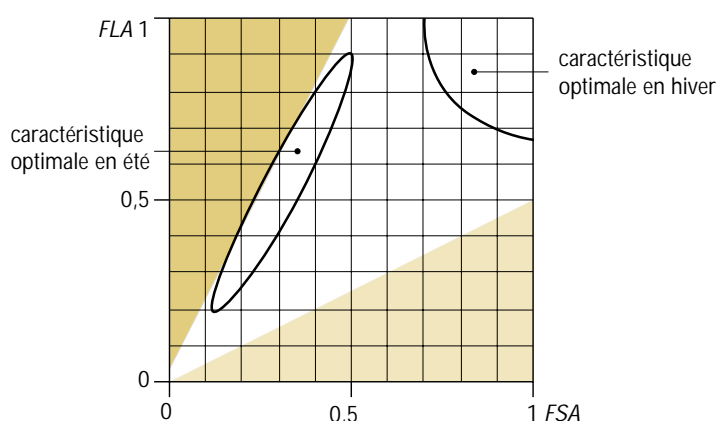


Ce facteur prend non seulement en compte la distribution énergétique spectrale du rayonnement solaire mais aussi la sensibilité spectrale de l'oeil humain.

Facteur solaire FSA/facteur lumineux FLA

Le facteur de transmission solaire (FSA) couvre l'ensemble du spectre, la transmission lumineuse (FLA) ne concernant que la fraction visible, c.-à-d. la partie du rayonnement de 380 à 780 nm. Outre la transmission directe, le facteur FSA tient compte de l'émission indirecte de l'énergie absorbée par le vitrage.

Si les facteurs FSA et FLA représentent individuellement des caractéristiques importantes de la fenêtre (vitrage éventuellement muni d'une protection solaire), leur combinaison joue également un rôle majeur : on peut en effet fixer des exigences performanciennes différentes pour les deux facteurs. La figure suivante illustre les combinaisons des deux facteurs physiquement réalisables. Les zones grises représentent des combinaisons impossibles ou non souhaitables. Comme le rayonnement solaire se compose pour près de la moitié de lumière visible, le facteur FSA ne peut jamais être inférieur à la moitié de la valeur FLA (zone gris foncé). par ailleurs, la combinaison d'une valeur FSA élevée et d'une faible valeur FLA, bien que concevable en théorie, n'est pas souhaitable dans la pratique (zone gris clair).



Pour pouvoir bénéficier au maximum des gains solaires et des apports lumineux en hiver, les vitrages doivent présenter des valeurs FSA et FLA les plus élevées possibles. Les propriétés isolantes du verre (valeur $U(k)$) sont toutefois un facteur restrictif : en augmentant le nombre de feuilles de verre ou de couches (*coatings*) pour améliorer le pouvoir isolant, on réduit bien évidemment le transfert d'énergie et de lumière.

Pour éviter la surchauffe des locaux en été, il convient d'optimiser l'utilisation de la lumière naturelle tout en limitant les gains énergétiques.

Annexe 2 - Tables de coefficients de transmission thermique de châssis et fenêtres

Les tableaux suivants donnent les coefficients de transmission thermique $U_{ch}(k_{ch})$ des principaux types de châssis selon la norme NBN B62-002 ainsi que des valeurs de coefficients de transmission thermique $U_f(k_f)$ de fenêtres de dimensions standard (formule simplifiée -voir annexe 1-) pour des vitrages multiples à intercalaire métallique.

Châssis bois, PUR et PVC

		BOIS	PUR	PVC			
				A plusieurs chambres sans renfort métallique	A plusieurs chambres avec renfort métallique.	A une chambre sans renfort métallique.	A une chambre avec renfort métallique.
		U _{ch} (k _{ch}) [W/m ² .K]					
	U _{vc} (k _{vc}) [W/m ² .K]	1.8	2.9	1.5	1.7	2.8	3
Simple vitrage	5.7	4.53	4.86	4.44	4.50	4.83	4.89
Double vitrage ordinaire	2.8	2.65	2.98	2.56	2.62	2.95	3.01
Double vitrage "haut rendement"	1.1	1.52	1.85	1.43	1.49	1.82	1.88
Triple Vitrage, lames d'air	2.3	2.30	2.63	2.21	2.27	2.60	2.66
Valeurs génériques	2.50	2.44	2.77	2.35	2.41	2.74	2.80
	2.25	2.27	2.60	2.18	2.24	2.57	2.63
	2.00	2.09	2.42	2.00	2.06	2.39	2.45
	1.75	1.98	2.31	1.89	1.95	2.28	2.34
	1.50	1.80	2.13	1.71	1.77	2.10	2.16
	1.25	1.63	1.96	1.54	1.60	1.93	1.99
	1.00	1.45	1.78	1.36	1.42	1.75	1.81
	0.75	1.28	1.61	1.19	1.25	1.58	1.64

Châssis métalliques

		ALU ou autres métaux					
		Sans coupure thermique	Avec coupure thermique (Ris ≤ 0.035W/m².K et li/l > 0.35)	Avec coupure thermique (Ris ≤ 0.035W/m².K et li/l > 0.35)	Avec coupure thermique (Ris ≤ 0.035W/m².K et li/l > 0.35)	Avec coupure thermique (Ris ≤ 0.035W/m².K et li/l > 0.35)	Liaisons métal. ponct. distantes de plus de 200 mm
		Uch (kch) [W/m².K]					
	U vc (kvc) [W/m².K]	6	4.2	3.9	3.8	3.5	4.8
Simple vitrage	5.7	5.78	5.33	5.25	5.23	5.15	5.48
Double vitrage ordinaire	2.8	3.60	3.30	3.23	3.20	3.13	3.45
Double vitrage "haut rendement"	1.1	2.33	2.09	2.01	1.99	1.91	2.24
Triple Vitrage, lames d'air	2.3	3.23	2.93	2.85	2.83	2.75	3.08
Valeurs génériques	2.50	3.38	3.08	3.00	2.98	2.90	3.23
	2.25	3.19	2.89	2.81	2.79	2.71	3.04
	2.00	3.00	2.70	2.63	2.60	2.53	2.85
	1.75	2.81	2.57	2.50	2.47	2.40	2.72
	1.50	2.63	2.39	2.31	2.29	2.21	2.54
	1.25	2.44	2.20	2.12	2.10	2.02	2.35
	1.00	2.25	2.01	1.94	1.91	1.84	2.16
	0.75	2.06	1.82	1.75	1.72	1.65	1.97

La réalisation de cette brochure a été confiée au

Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC)
Etablissement reconnu en application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947
21-23, rue de la Violette
B-1000 Bruxelles.

Rédaction : S. Martin, L. Vandaele, P. Wouters.

Dessins techniques : Serge Peeters et Walter Verbesselt

Réalisation graphique et mise en pages : Robert Roodenburg

Comité de lecture et supervision :

- Myriam Hay, consultante au Guichet de l'Energie d'Ottignies
- Lutgarde Neirinckx, ingénieur, Styfabel (auteur de la version précédente);
- J.M. Guillemeau - CIFFUL;
- J. Uyttenbroeck - directeur scientifique au CSTC
- Michel Wagneur - directeur de l'Information au CSTC
- la Division de l'Energie du Ministère de la Région Wallonne.

Brochure disponible sur simple demande au :

Ministère de la Région Wallonne
DGTRE - Division de l'Energie
Avenue prince de Liège, 7
B-5100 Namur

ou aux Guichets de l'Energie de votre région.

Le téléphone vert du Ministère de la Région Wallonne (08001-1901, appel gratuit)
vous informera de leurs coordonnées.

Dépôt légal : D/1998/5322/11

*Ministère de la Région Wallonne,
Direction générale des Technologies, de la Recherche et de l'Energie.
Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC).
Centre interdisciplinaire de formation de formateurs de l'Université de Liège.*



DIRECTION GENERALE
DES TECHNOLOGIES
DE LA RECHERCHE ET DE L'ENERGIE

Avenue Prince de Liège 7 - B-5100 Namur



Tél. 081-32.15.69 - Fax 081-30.66.00