

# LES CONSTITUANTS DE LA BAIE DE FENÊTRE : LE VITRAGE

## **LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE ET DE VITRAGE**

LA COMPOSITION DU VERRE

LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE ET DE VITRAGE

Les produits de base

Les produits de base spéciaux

Les produits transformés

## **LES EXIGENCES VIS-À-VIS DES PRODUITS VERRIERS**

## **LES PERFORMANCES THERMIQUES ET LA LIMITATION DU TRANSFERT DE CHALEUR**

LA TRANSMISSION DE CHALEUR

LE GAIN DE CHALEUR PAR EFFET DE SERRE

L'INFLUENCE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES SUR LA VALEUR U

Les vitrages multiples

L'épaisseur du verre

L'épaisseur de la lame d'air ou de gaz

La composition de la lame entre les feuilles de verre

Les intercalaires

## **LES AUTRES PERFORMANCES**

LA FONCTION VISUELLE

La transmission lumineuse

LES PERFORMANCES PHYSICO-MÉCANIQUES

LE RÔLE ACOUSTIQUE

LA FONCTION SÉCURITÉ

## **LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MISE EN OEUVRE DES FENÊTRES**

LA MISE EN OEUVRE

LES COMPOSANTS

Cette partie concernant les vitrages tient compte des normes et des projets de normes européennes les décrivant. Sauf mention contraire explicite, tous les chiffres et les valeurs donnés proviennent de ces normes et projets de normes européennes.

La plupart des données sont issues de la Note d'Information Technique 214 du CSTC - "Le verre et les produits verriers - les fonctions des vitrages" [21].

# LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

## LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE ET DE VITRAGE

COMPOSITION DU VERRE SILICO-SODO-CALCIQUE (proportion massique)			
AVANT FUSION		APRES FUSION	
Sable (SiO <sub>2</sub> )	58%	SiO <sub>2</sub>	69 à 74 %
Feldspath (SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O)	3%	Na <sub>2</sub> O	12 à 16 %
Calcaire (CaO)	4%	CaO	5 à 12 %
Dolomie (CaO, MgO)	17%	MgO	0 à 6 %
Soude (Na <sub>2</sub> O)	18%	divers	0 à 3 %

ROLE DES DIFFERENTS COMPOSANTS	
• Le sable (à plus de 99 % de SiO <sub>2</sub> ) : la silice joue le rôle d'oxyde formateur de réseau.	
• Le Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> apporte le principal oxyde modificateur de réseau (Na <sub>2</sub> O) qui joue le rôle de fondant permettant de diminuer la température de fusion de SiO <sub>2</sub> .	
• La dolomie et le calcaire améliorent la résistance chimique des verres sodiques en diminuant fortement leur solubilité.	
• Le borax diminue le coefficient de dilatation du verre et améliore ainsi la résistance aux chocs thermiques.	

PROPRIETES MECANIQUES	
Masse volumique $\rho$ à 18 °C	2500 kg/m <sup>3</sup>
Résistance à la compression	1000 N/mm <sup>2</sup>
Résistance à la traction :	
verre simple	10 N/mm <sup>2</sup>
verre trempé	50 N/mm <sup>2</sup>
Taux de travail :	
verre recuit	16,5 N/mm <sup>2</sup>
verre durci	31 N/mm <sup>2</sup>
verre trempé thermiquement	49 N/mm <sup>2</sup>
verre trempé chimiquement	70,6 ou 50,4 N/mm <sup>2</sup>
Résistance au cisaillement	28 N/mm <sup>2</sup>
Module de Young E	70 000 N/mm <sup>2</sup>

PROPRIETES OPTIQUES	
Indice de réfraction $n$ :	
air/verre	0,67
verre/air	1,5
eau/verre	0,88
verre/eau	1,13
Transmission énergétique	
FSA	60 à 85 %
FLA	75 à 90 %

PROPRIETES THERMIQUES	
Température de ramollissement	± 600 °C
Température de fusion	1500 °C
Coefficient de dilation linéaire $\alpha$	9.10 <sup>-6</sup> /C
Conductivité thermique $\lambda$	1 W/mK

PROPRIETES ELECTRIQUES	
Résistance spécifique	5.10 <sup>7</sup> $\Omega$ à 1000 Hz et 25 °C
Constance diélectrique	7,6 à 1000 Hz et 25 °C

Les verres existent dans la nature. Ils se sont formés lors du refroidissement brusque de lave fondue (obsidienne) ou par impact de météorites (tectites), mais ce sont principalement des matériaux artificiels.

Les verres inorganiques sont, pour 95 % de la production industrielle, des verres constitués de silicates (verres d'oxyde).

### LA COMPOSITION DU VERRE

Le verre utilisé pour la confection de vitrages dans la construction est fabriqué à partir de :

- sable de silice (69 à 74 %) ;
- oxyde de sodium (soude; 12 à 16 %) utilisé comme fondant dans le but d'abaisser la température de fusion de la silice ;
- chaux (5 à 12 %) qui joue le rôle de stabilisant conférant au verre sa résistance chimique ;
- divers oxydes métalliques servant à améliorer ses caractéristiques mécaniques et sa résistance aux agents atmosphériques, ainsi qu'à lui donner sa coloration éventuelle ;
- divers éléments provenant du fait qu'une partie de la matière première est apportée sous forme de verre recyclé.

De par sa composition, ce type de verre est appelé "silico-sodo-calcique". Il existe aussi des verres borosilicates et vitrocéramiques.

**Le verre silico-sodo-calcique** a des propriétés mécaniques, optiques, thermiques, acoustiques et électriques dont les principales sont chiffrées dans le tableau ci-contre.

Il y faut noter que la proportion massique des éléments constituant les produits verriers varient après la fusion.

La composition d'un mélange destiné à élaborer des verres plats est variable.

### RÉSISTANCE À LA FLEXION DES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE [21]

TYPE DE VERRE	TENSION DE RUPTURE [N/mm <sup>2</sup> ]	COEFFICIENT DE SÉCURITÉ K	TAUX DE TRAVAIL [N/mm <sup>2</sup> ]
Verre recuit	41,2	2,5	16,5
Verre durci*	(93)	(3)	(31)
Verre trempé thermiquement	196,0	4,0	49,0
Verre trempé chimiquement**	353,0	5,0 ou 7,0***	70,6 ou 50,4**

\* Seuls les verres durcis porteurs d'un agrément technique (ATG) peuvent avoir des valeurs de calcul de  $\sigma$  et k différentes de celles du verre recuit.

\*\* Ce type de verre n'est pas utilisé dans le bâtiment.

\*\*\* On prendra la valeur 5 si les bords du vitrage sont non apparents, la valeur 7 s'ils sont apparents.

# LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

Pour plus d'information, consulter les projets de norme prEN 1051 et 12725.

## LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE ET DE VITRAGE [21]

### LES PRODUITS DE BASE

- Glace (selon la NBN EN 572-1) / verre clair simple / verre recuit / "float glass" : feuille de verre clair ou coloré obtenue par coulage sur bain d'étain en fusion.
- Verre coulé / traité / de sécurité / sérigraphié : feuille de verre coulé (armé ou non armé) obtenue par laminage à chaud entre deux rouleaux, avec ou sans impression de dessins sur une des faces.
- Verre armé : verre dans lequel on a incorporé, lors de la phase de fabrication, un treillis métallique destiné à maintenir les morceaux de verre en place en cas de bris mais ne participant pas à la résistance mécanique.
- Verre profilé : verre recuit obtenu par coulée continue suivie d'un laminage et d'un processus de formage (souvent en forme de U).  
Des fils métalliques peuvent y être incorporés lors de la fabrication pour en faire du verre profilé armé.  
Ce verre peut être assemblé à l'aide de mastic (silicone) et ce, de différentes façons.  
Le verre profilé peut être utilisé en double paroi uniquement dans le cas de bâtiments à faible teneur en humidité. Il s'applique en paroi tant intérieure qu'extérieure, mais pas à un endroit où un vitrage de sécurité est requis (toiture, risque de chute,...).  
Les performances thermiques ne sont pas très bonnes.
- Verre moulé : verre translucide moulé soit sous forme de dalles décoratives, soit sous formes de briques (c'est-à-dire corps en verre, étanches à l'air, généralement composés d'au moins deux éléments soudés les uns aux autres).
- Verre soufflé : produit par un ancien procédé artisanal (le soufflage) qui permet d'obtenir une large gamme de couleurs.

### REMARQUES

- La résistance du verre armé est inférieure à celle d'un verre non armé car le treillis déforce la résistance intrinsèque du verre.
- Vu la présence de l'armature et le déforçement qui s'ensuit, le verre armé ne peut être trempé.
- L'utilisation du verre armé en verre feuilleté ou en double vitrage est déconseillée (pas de garantie).

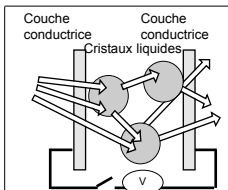
- La pose du vitrage doit s'effectuer conformément à la norme NBN S 23-002
- La norme NBN-EN 356 définit des classes de protection en fonction de la résistance des vitrages.
- La masse surfacique du verre type est d'environ :
  - 20 kg/m<sup>2</sup> pour DV 4+4 ;
  - 25 kg/m<sup>2</sup> pour DV 4+6 ;
  - 35 kg/m<sup>2</sup> pour DV 6+8 ;
  - 30 kg/m<sup>2</sup> pour DV verre feuilleté : 44.4 à savoir 2 vitrages de 4 mm d'épaisseur séparés par 4 feuilles de PVB ;
  - 35 kg/m<sup>2</sup> pour DV verre feuilleté : 64.4 ;
  - 50 kg/m<sup>2</sup> pour DV verre feuilleté : 86.6 ;
  - 15 kg/m<sup>2</sup> pour un verre simple armé 6 mm.

Pour plus d'information sur le verre borosilicate et le verre vitrocéramique, consulter respectivement les normes NBN EN 1748-1 et NBN EN 1748-2.

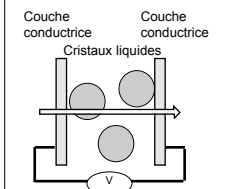
### LES PRODUITS DE BASE SPÉCIAUX

- Verre borosilicate : verre contenant entre 7 et 15 % d'oxyde de bore. Il présente une dilatation représentant un tiers à deux tiers de celle du verre silico-sodo-calcique. Il possède une excellente résistance aux acides et est utilisé pour les feux ouverts.
- Verre vitrocéramique : verre constitué d'une phase cristalline et d'une phase vitreuse résiduelle. Ensuite, il est soumis à un traitement thermique qui transforme, de façon contrôlée, une partie du verre en une phase finement cristallisée, ce qui leur confère des propriétés de coefficient de dilatation proche de zéro.
- Verre à haute teneur en plomb : verre présentant une teneur en plomb de l'ordre de 70 %, ce qui permet une forte atténuation des rayons x et  $\gamma$ .  
Il est sensible à l'oxydation. Il faut donc éviter le contact avec l'eau et les détergents.

# LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE



Lorsqu'ils ne sont soumis à aucun champ électrique, les cristaux liquides ne sont pas alignés et le verre est opalin.



Dès qu'un champ électrique est établi entre les deux couches métalliques, les cristaux liquides s'alignent et le verre devient transparent.

## PRINCIPE D'UN VITRAGE CHROMOGÈNE [32]

- **Le vitrage** : il est composé de deux glaces entre lesquelles est placé un film dont les deux faces sont recouvertes d'une couche métallique parfaitement transparente, conductrice d'électricité. Les deux couches sont reliées à un conducteur électrique.
- **Principe** :
  - si pas de tension électrique, les cristaux liquides ne sont pas alignés => le vitrage est opaque à la vision ;
  - si tension électrique, les cristaux liquides sont alignés => le vitrage devient clair, transparent.

### Pour plus d'informations :

- sur le verre trempé thermiquement : consulter la norme NBN S23-002 (STS 38) ;
- sur le verre durci : consulter le projet de norme prEN 1863 et la norme NBN S23-002 ;
- sur le verre trempé chimiquement : consulter la norme NBN S23-002 (STS 38).

**Remarque importante** : pour le float trempé thermiquement, le float durci et le float trempé chimiquement, certaines valeurs (dues à la méthode de calcul des vitrages données dans le prEN 13474) des projets de norme européenne prEN 12150, prEN 1863 et prEN 12337 ne peuvent être utilisées selon la norme NBN S23-002 .

### NOMENCLATURE DU VERRE FEUILLETÉ

Le verre feuilleté possède une nomenclature propre qui permet de reconnaître sa composition ; deux chiffres (minimum) indiquent l'épaisseur des feuilles de verre en mm et sont suivis, après interposition d'un point, d'un chiffre donnant le nombre de films plastiques placés entre deux feuilles de verre.

#### Exemple :

- un vitrage 66.2 correspond à :
  - deux feuilles de verre de 6 mm d'épaisseur ;
  - deux feuilles de PVB de 0,38 mm d'épaisseur chacune séparant les feuilles de verre ;
- un vitrage 4/12/66.2 correspond à un double vitrage composé d'un verre simple de 4 mm, d'un espace de 12 mm rempli d'air et d'un vitrage feuilleté 66.2.

NB : le vitrage est noté de l'extérieur vers l'intérieur.

## LES PRODUITS TRANSFORMÉS

- **Verres composés à partir de verres simples de base ou éventuellement traités ou vitrages multiples** :
  - **vitrages multiples à lames d'air ou de gaz** (vitrage isolant double / double avec soudure / triple) : vitrage obtenu par assemblage de feuilles de verre et d'intercalaires métalliques unis au verre par soudure, collage, etc. ;
  - **vitrages chromogènes** : vitrage à propriétés variables. Le changement d'état dépend soit des conditions ambiantes (cas des vitrages non électroactivés) soit de l'application d'un courant électrique (cas des vitrages électro-activés).
- **Verre à mince couche réfléchissante** :
  - par projection d'oxyde métallique sur verre chaud ;
  - par évaporation sous vide ou par extraction ionique d'un métal sous champ électrique.
- **Verre traité thermiquement (trempé ou durci) - appelé "renforcé à la chaleur" - et verre traité chimiquement** : verres traités de manière à y introduire des contraintes permanentes, ce qui leur donne une meilleure résistance aux sollicitations d'origine thermique et/ou mécanique.
- **Verre feuilleté** : verre obtenu par plusieurs feuilles de verre collées par interposition d'un ou de plusieurs films plastiques (en général de butyral de polyvinyle, PVB) ou de résines.
 

C'est un produit de haute performance puisqu'il associe les propriétés intrinsèques du verre à celles de la feuille synthétique (adhérence au verre, élasticité, résistance à l'impact). Cependant, après l'opération de trempage qui lui confère une très bonne résistance, il ne peut plus être coupé, scié, percé ni façonné.
- **Verre feuilleté assurant une protection contre le feu et les incendies** :
  - **avec gel aqueux** : vitrage composé de minimum deux verres trempés, assemblés au moyen d'un espaceur en acier. L'espace entre les feuilles de verre est rempli d'un gel transparent qui, sous l'action de la chaleur provoquée par un incendie, se transforme et libère de la vapeur d'eau. Le gel devient alors opaque et forme un écran isolant.
  - **avec intercalaire intumescent** : vitrage composé d'un verre feuilleté contenant un intercalaire solide qui foisonne en cas d'incendie. En condition normale, l'intercalaire est transparent à la lumière ; en cas d'incendie, il gonfle sous l'effet de la chaleur et se transforme en une mousse isolante opaque qui réduit les échanges par convection et absorbe quasi intégralement le rayonnement.
- **Verre feuilleté retardateur d'effraction** : vitrage qui se fendille tout en restant adhérent à la feuille de PVB. Il restera dans le châssis et retardera l'effraction.
 

Le degré de protection contre l'effraction offert par le vitrage est principalement fonction du nombre de couches de PVB.

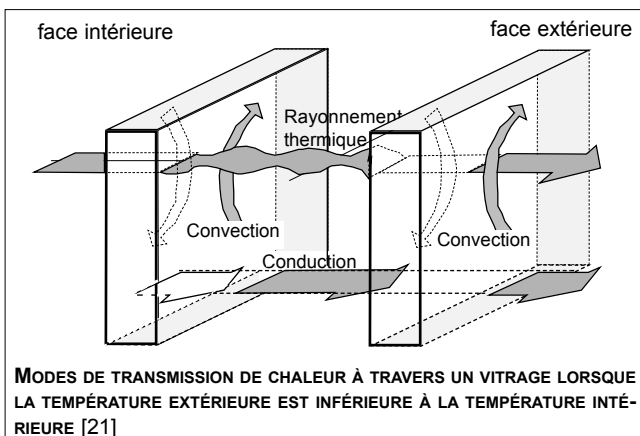
## LES EXIGENCES VIS-À-VIS DES PRODUITS VERRIERS

Selon la directive européenne "Produits de construction", les matériaux et ouvrages de construction sont supposés répondre à 6 exigences essentielles.

Les produits verriers sont évidemment concernés par ces exigences, à savoir :

- la résistance mécanique et la stabilité aux actions externes tels que le vent et, dans certains cas, le risque de "casse thermique" ;
- la sécurité en cas d'incendie ;
- l'hygiène, la santé et l'environnement : les produits verriers n'émettent aucune substance polluante susceptible de provoquer des effets néfastes sur la santé et sur l'environnement ;
- la sécurité d'utilisation là où il pourrait présenter un risque pour la sécurité des personnes, le verre peut avoir des caractéristiques telles qu'il évite les chutes par effacement de la protection (garde-corps) ou les blessures par contact d'arêtes vives et coupantes ;
- la protection contre le bruit ;
- l'économie d'énergie et l'isolation thermique.

## PERFORMANCES THERMIQUES ET LIMITATION DU TRANSFERT DE CHALEUR



### LA TRANSMISSION DE CHALEUR

La transmission de chaleur entre les deux faces du verre se fait :

- uniquement par conduction s'il s'agit d'un simple vitrage opaque ;
- par conduction et rayonnement s'il s'agit d'un simple vitrage transparent ;
- par conduction et rayonnement dans le verre, par conduction dans l'espaceur et par conduction, rayonnement et convection dans la lame d'air ou de gaz s'il s'agit d'un double vitrage.

L'utilité du vitrage multiple est de limiter les pertes de chaleur par conduction dans le verre en séparant les feuilles de verre par une (des) lame (s) de gaz.

La conductivité thermique  $\lambda$  du verre vaut  $1 \text{ W/mK}$ . Il ne s'agit donc pas d'un matériau isolant puisque sont considérés comme tels les matériaux dont la conductivité thermique est inférieure à  $0,065 \text{ W/mK}$ .

Pour minimiser les déperditions d'énergie et donc obtenir une isolation thermique maximale, il faut que le coefficient de transmission  $U$  du vitrage ait une valeur aussi faible que possible .

### LE GAIN DE CHALEUR PAR EFFET DE SERRE

Rappelons que c'est l'élément translucide - et donc le vitrage - qui est l'agent essentiel de l'effet de serre (voir principe défini à la page 12).

# LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

## POUR MÉMOIRE

### • La température des vitrages :

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.

### • La condensation superficielle sur les faces, tant intérieure qu'extérieure, d'un double vitrage est un phénomène qu'il n'est jamais possible de supprimer à 100 %.

Le phénomène de condensation sur la face intérieure peut se limiter par la ventilation et l'utilisation de châssis et de vitrages isolants; néanmoins, s'il existe une source de vapeur d'eau importante, il y aura apparition de condensation sur le vitrage, quelles que soient ses performances.

Valeurs du coefficient de transmission thermique $U_{\text{vitrage}}$ pour les différents types de vitrage [W/m <sup>2</sup> K]								
Espace [mm]	4-x-4				4-x-4 HR ( $\epsilon = 0,10$ )			4-x-4-x-4
	air	argon	krypton	SF6	air	argon	krypton	air
4	3,6	3,3	2,9	3,1	3,1	2,6	1,9	2,6
8	3,1	2,9	2,6	3,1	2,3	1,8	1,3	2,1
12	2,9	2,7	2,6	3,1	1,9	1,4	1,2	1,9
15	2,8	2,6	2,5	3,1	1,7	1,3	1,2	1,8
20	2,8	2,6	2,6	3,2	1,7	1,3	1,2	1,8

NB : le SF-6 devrait être retiré du marché dans les mois à venir

## L'INFLUENCE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES SUR LA VALEUR U

Pour atteindre les valeurs les plus basses du coefficient U, différents paramètres peuvent jouer.

Tout en sachant qu'il y a des limites dans les possibilités techniques, on peut donc améliorer l'isolation thermique de la fenêtre en :

- créant des vitrages multiples ;
- augmentant l'épaisseur de la (des) feuille(s) de verre ;
- augmentant l'épaisseur de la lame d'air ou de gaz ;
- limitant le transfert de chaleur dans la lame d'air.

En combinant ces éléments, il est possible, aujourd'hui, d'obtenir un double vitrage présentant de très bonnes qualités thermiques, ( $U_{\text{vitrage}} < 2 \text{ W/m}^2\text{K}$  : voir zone grisée dans le tableau ci-contre). Ce type de vitrage est appelé **double vitrage haut rendement**. Il est souvent composé d'une feuille de verre munie d'une couche dite à "basse émissivité".

Un double vitrage doté d'une couche basse émissivité et d'une lame d'argon de 15 mm peut présenter une valeur U proche de 1,3 W/m<sup>2</sup>K au centre du panneau, valeur qui passe à 1,2 W/m<sup>2</sup>K pour une lame de krypton d'au moins 12 mm : cela présente une amélioration considérable par rapport à la valeur U d'un double vitrage ordinaire ( $U \pm 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

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.

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 intérieure sensiblement plus élevée, une amélioration appréciable du confort thermique.

Cependant la face extérieure peut être, dans certaines conditions atmosphériques (température extérieure très basse), sujette à condensation.

## LES VITRAGES MULTIPLES

Les doubles vitrages constituent la base des vitrages isolants. L'ajout de lames (d'air ou de gaz) supplémentaires a été envisagé mais ce type de solution présente de gros inconvénients tels qu'une épaisseur importante et un poids considérable.

## L'ÉPAISSEUR DU VERRE

Le verre est un mauvais isolant.

C'est pour cette raison que l'augmentation de l'épaisseur des verres composant un vitrage n'influence que très peu la qualité de l'isolation thermique.

Calcul de l'épaisseur des vitrages de façade et résistance à l'action du vent : voir NIT 176 "Vitrages en toiture" [18].

## LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

PERFORMANCES ENERGETIQUES DE DIVERS SYSTEMES DE VITRAGES [33]				
Type de vitrage (verre recuit)	Composition [mm]	Valeur U centrale [W/m <sup>2</sup> K]	Facteur solaire absolu	Facteur lumineux absolu
Vitrage simple	4	5,80	0,85	0,90
	6	5,73	0,83	0,88
Double vitrage avec lame d'air	4+12+4	2,88	0,76	0,81
Double vitrage, couche basse émissivité, lame d'air	6+12+6	1,75	0,60	0,74
Double vitrage, couche basse émissivité, argon	6+15+6	1,32	0,61	0,74
Triple vitrage, lame d'air	4+6+4+6+4	2,29	0,67	0,73

Les valeurs U évoquées dans ce tableau concernent la partie centrale du vitrage et non la zone périphérique. La valeur U de la fenêtre sera donc plus importante, en raison des déperditions à travers les joints et les intercalaires.

Remarque : on parle de double vitrage 'haut rendement' lorsque la valeur U centrale est inférieure à 2 W/m<sup>2</sup>K (zone grisée).

### REMARQUE

Les valeurs U des fenêtres ne concernent généralement que la partie centrale des vitrages. Cependant, en périphérie du vitrage, c'est-à-dire à la limite du vitrage et du châssis, on constate qu'il y a généralement des déperditions : ce sont les pertes par ponts linéaires.

L'INFLUENCE DU CHOIX DU VITRAGE SUR L'ECONOMIE D'ENERGIE		
Si la lumière naturelle à travers le vitrage augmente	Eclairage artificiel	↘
	Déperditions thermiques	↘
Si l'isolation du vitrage augmente	Confort intérieur	↗
	Température de la face intérieure	↗
	Température de l'air intérieur	↗
Si le contrôle du rayonnement entrant augmente	Risques de surchauffe	↘
	Apport d'énergie en hiver	↗
	Besoin d'un conditionnement d'air	↘

L'influence du choix du vitrage sur l'économie d'énergie peut se synthétiser dans le tableau ci-dessus.

Sans entrer dans les détails, citons par exemple que la valeur U diminue de moins de 0,5 W/m<sup>2</sup>K quand on utilise du verre de 19 mm plutôt que de 4 mm.

### L'ÉPAISSEUR DE LA LAME D'AIR OU DE GAZ

Augmenter l'épaisseur de la lame d'air ou de gaz influence de façon déterminante la valeur U.

Selon l'étude comparative publiée dans la NIT 214 du CSTC [21], la valeur U diminue fortement quand l'espace d'air passe de 4 à 100 mm, l'optimum se situant, selon les cas, autour de 10 à 15 mm.

Pour des largeurs plus importantes, la valeur U ne diminue plus, vu l'importance des phénomènes de convection dans la lame d'air, raison pour laquelle cette solution est rarement utilisée sauf pour de meilleures performances acoustiques.

### LA COMPOSITION DE LA LAME ENTRE LES FEUILLES DE VERRE

On peut limiter le transfert de chaleur dans la lame d'air par deux procédés :

- L'utilisation de surfaces à faible facteur d'émissivité dans le domaine de l'infrarouge.

Cette technique consiste à appliquer une couche métallique transparente ultra-mince. Cette couche "basse émissivité" est constituée soit d'un métal précieux multicouche vaporisé (en général : de l'argent), soit d'un film semi-conducteur appliqué par déposition pyrolytique.

- Le remplacement de l'air par des gaz plus isolants et plus visqueux que l'air, tels que l'argon ( $\lambda = 0,017$  W/mK) ou le krypton ( $\lambda = 0,009$  W/mK à 10 °C), permet de diminuer la conduction et la convection de manière considérable.

Cet usage doit se limiter aux gaz non toxiques. Actuellement cette technique est de plus en plus suppléée par l'utilisation de double vitrage à basse émissivité.

### LES INTERCALAIRES

Au pourtour du vitrage multiple, il est nécessaire d'avoir des intercalaires qui permettent d'assurer l'espacement nécessaire entre les feuilles de verre ainsi que l'étanchéité entre celles-ci.

Le matériau de ce cadre intercalaire est un matériau composite organique de synthèse renforcé de fibres de verre.

Il existe aujourd'hui des cadres intercalaires à rupture thermique "bords chauds" qui permettent d'éliminer presque totalement le pont thermique autour du vitrage.

La rigidité de ce type de cadre intercalaire offre les mêmes performances mécaniques que les intercalaires métalliques traditionnels, à savoir la manutention rapide, l'intégration de croisillons, le maintien des gaz.

Ce type de cadre intercalaire améliore considérablement les performances thermiques d'un double vitrage.

# LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

## LES AUTRES PERFORMANCES

### LA FONCTION VISUELLE

#### LA TRANSMISSION LUMINEUSE

INFLUENCE DES OXYDES ET DES SULFURES SUR LA COULEUR DU VERRE	
Oxydes et sulfure	Couleur du verre
Oxyde de fer	verte
Oxyde de chrome	verte
Oxyde de nickel	grise
Oxyde de manganèse	violette
Oxyde de cobalt	bleue
Oxyde de cuivre	rouge ou verte
Sulfure de fer III (en milieu réducteur)	ambre (protection UV)

Le rôle de la fenêtre et de sa situation par rapport à l'environnement intérieur et extérieur est incontestable dans la transmission lumineuse.

Le choix de certains vitrages dans un but de contrôle de l'énergie solaire peut influencer la transmission lumineuse et, parfois, l'esthétique d'un bâtiment.

Choisir des verres absorbants, c'est-à-dire des verres teintés dans la masse, conduit, selon l'épaisseur, à diminuer le facteur solaire  $g$ . Celui-ci ne pourra valoir que 0,4 dans le cas le plus défavorable et sera, au maximum de 0,8 dans le cas le moins défavorable.

De plus, ce type de vitrage est sujet au phénomène de casse thermique, car il s'échauffe plus que les verres classiques.

Choisir des verres réfléchissants peut entraîner, par réflexion du soleil sur les vitrages, un éblouissement certain.

L'avantage des façades entièrement vitrées par ce type de verre est de réfléchir le paysage.

Il faut également prendre en compte les problèmes de réflexion de l'image, de déformation et de coloration de l'environnement.

### LES PERFORMANCES PHYSICO-MECANQUES

Quel que soit le type de vitrage, il doit pouvoir résister aux agressions extérieures et intérieures.

En effet, il doit au minimum résister à son propre poids, aux sollicitations du climat (pluie, vent, etc).

Ce matériau étant élastique, il pourra se dilater mais il ne présente jamais de déformation permanente.

Cependant, puisqu'il est fragile, lorsqu'il sera soumis à une flexion trop forte, il cassera sans présenter de signes précurseurs.

Il pourra en outre résister à la traction (module de Young ou module d'élasticité longitudinal) et subir une contraction latérale due à un allongement (coefficient de Poisson).

### LE RÔLE ACOUSTIQUE

Les fenêtres constituent en général un maillon faible dans l'isolation aux bruits aériens des façades et des toitures.

L'isolation acoustique s'améliore entre autre par :

- l'utilisation de vitrages relativement épais avec une lame d'air importante ;
- le choix judicieux des dispositifs de ventilation ;
- le recours aux fenêtres doubles ;
- l'utilisation de blocs de verre ;
- le doublage du vitrage en toiture pour les bruits d'impact.

Le lecteur pourra trouver dans l'Annexe 2 de ce même guide, des renseignements utiles concernant le problème de l'acoustique.



# LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

## LA FONCTION DE SÉCURITÉ

Le lecteur pourra trouver dans l'Annexe 3 de ce même guide, des renseignements utiles concernant le problème de la sécurité.

Le besoin de sécurité est un des premiers motifs qui ont amené l'homme à construire.

Les ouvertures restent les points sensibles. Il faut donc prévoir :

- un vitrage anti-effraction ou retardateur d'effraction ;
- des profilés de résistance et de rigidité adaptées aux sollicitations ;
- une fixation au gros-oeuvre adaptée et de caractéristiques suffisantes ;
- une fixation adaptée des parcloles ;
- une quincaillerie ralentissant l'effraction.

Pour le choix du vitrage, il y a lieu de tenir compte de :

- la recherche de l'intimité ;
- la protection contre l'effraction :
  - le type de vitrage : nombre et épaisseur des verres, et nombre de films PVB ;
  - la pose du vitrage ;
  - la pose des cales de support et d'espacement ;
  - la fixation des parcloles ;
- la protection contre le feu ;
- la protection contre le risque de blessures par des morceaux de verre brisés et coupants ainsi que contre le risque de chute dans le vide ;
- la protection contre la pénétration d'objets indésirés, de projectiles et d'impacts d'armes et d'explosifs.

Le tableau ci-dessous [20] établit les degrés de protection anti-effraction ainsi que le nombre de couches PVB à utiliser en tenant compte que c'est l'ensemble vitrage / menuiserie qui assure la protection anti-effraction. L'épaisseur de chaque feuille de PVB est de 0,38 mm.

TYPES DE PROTECTION	DEGRE DE PROTECTION ANTI-EFFRACTION	NOMBRE MIN. DE COUCHES PVB	ENDROITS CONCERNES	CLASSIFICATION NBN S23-002
Sécurité des personnes	Protection contre les blessures par des morceaux de verre brisés et coupants et contre le risque de chute dans le vide par bris ou par effacement du vitrage	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chocs contre un vitrage.</li> </ul>	I
Protection contre le vandalisme	Protection contre le vandalisme non organisé	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rez-de-chaussée d'une habitation</li> <li>• Etalages de magasins présentant des risques limités.</li> </ul>	
Ralentissement d'effraction	Protection contre le cambriolage	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etalages de magasins présentant des risques réels.</li> </ul>	
	Protection renforcée contre le cambriolage organisé	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etalages de magasins présentant des risques élevés.</li> <li>• Vitrines de prisons, hôpitaux psychiatriques.</li> </ul>	II
	Haut niveau de protection contre toutes formes d'agression à armes blanches	>6 en multifeuilletée	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etalages de magasins présentant de très hauts risques et/ou possédant des objets de très grande valeur.</li> </ul>	III
Protection contre les armes à feu et les explosions	La protection (des banques et bureaux de poste, par exemple) contre différents types d'armes à feu et explosifs est assurée par l'application de produits homologués ou spécialement mis au point à cet effet (composés de plus de deux panneaux de verre).			
En cas d'incendie	En ce qui concerne la réaction au feu et les verres présentant une résistance au feu, le lecteur consultera l'Annexe 3.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verre recuit et verre trempé : matériaux considérés comme incombustibles (classe A0).</li> <li>• Verre feuilleté avec PVB 33.2.</li> </ul>	Selon 5 catégories de A0 à A4

## PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MISE EN OEUVRE DES FENÊTRES [33]

### LES CHÂSSIS

Les menuiseries de châssis doivent également respecter certaines règles. Il faut :

- veiller à la planitude ;
- concevoir les châssis en fonction des sollicitations extérieures, des mouvements "normaux" des bâtiments et du poids du vitrage ;
- veiller à ce que les châssis satisfassent aux critères de résistance mécanique ;
- éviter que la déformation de tout élément constitutif ne présente une flèche trop importante (max. 1/600 de la portée suivant le type).

Le calage par des cales de support est nécessaire dans tous les types de châssis, qu'ils soient fixes (sauf si leur surface est inférieure à 2 m<sup>2</sup> et si il s'agit de mastic durcissant) ou mobiles car il constitue un support efficace pour les feuilles de verre (ou plastique).

### LE VITRAGE

En plus de toutes les prescriptions données par les fabricants, il faut :

- déterminer les dimensions en fonction des dimensions à fond de feuillure des supports et des jeux à réserver tenant compte des tolérances des châssis ;
- veiller à ce que la découpe soit franche et sans éclat ;
- éviter toutes projections de ciment ou de peinture silicatée (même si nettoyage), ou jets d'étincelles ou de soudure ;
- faire attention aux risques de rayures par poussières abrasives (ciment ou autre) lors du nettoyage de fin de chantier notamment ;
- prévoir des larmiers pour prémunir les vitrages des coulures d'eau de ruissellement provenant de parties supérieures, notamment en béton.

### LES FEUILLURES ET PARECLOSES

Les feuillures doivent être correctement dimensionnées, c'est-à-dire qu'elles doivent avoir des dimensions suffisantes pour permettre au plus l'affleurement de l'intercalaire en traverse basse et en montants.

Lors de la mise en oeuvre, les jeux entre le vitrage et les montants doivent être également répartis afin que le haut du joint de scellement ne dépasse pas le haut des feuillures.

Les feuillures et les parecloses seront protégées contre la corrosion et la pourriture ou, mieux, inoxydables.

### LES GARNITURES D'ÉTANCHÉITÉ

Il est important que l'étanchéité entre le vitrage et le châssis soit et reste souple pour éviter toute rupture lors des mouvements différentiels inévitables.

Ces garnitures d'étanchéité sont à choisir en fonction de certains critères qui sont repris dans l'Annexe 1 sur les feuillures et parecloses.

Pour déterminer le système d'étanchéité, il faut tenir compte de plusieurs critères :

- l'exposition à la pluie (qui est fonction de la situation de la construction, de la position du vitrage dans la baie, de la distance au-dessus du sol) ;
- le type et matériau de châssis ;
- la nature et les dimensions du vitrage.

Deux systèmes d'étanchéité sont possibles :

- le plein bain mastic qui est assez déconseillé de par la difficulté d'obtenir un plein bain parfait. Ce système est même proscrit pour les vitrages feuilletés et les doubles vitrages car il ne permet pas le drainage ;
- la feuillure drainée : actuellement, c'est la technique la plus utilisée.

Remarque : pour les locaux extrêmement humides (piscine), il faut également prévoir une ventilation de la feuillure.

### LA MISE EN OEUVRE

La mise en oeuvre doit :

- être conforme à la norme NBN S23-002 ;
- suivre les indications des NIT 188 du CSTC ;
- suivre le Cahier général des charges pour travaux de construction privée - 2ème partie - Clauses Techniques - Fascicule 22 "Travaux de vitrerie et de miroiterie" ;
- suivre les indications du STS 52 [38] ;
- satisfaire les règles professionnelles reprises dans des documents tels que les Informations techniques 05 de l'Institut Scientifique du Verre - Vitrages isolants ou dans les prescriptions particulières des fabricants.

Il faut également tenir compte des spécifications techniques et des informations fournies par les fabricants.

### LES COMPOSANTS

Quels que soient les constituants utilisés pour la fenêtre, il faut veiller à ce qu'ils conservent leurs propriétés et leurs caractéristiques physiques et chimiques sans qu'il y ait d'interaction susceptible de provoquer la dégradation des performances ou de l'aspect d'ensemble. Tout en répondant aux exigences des maîtres d'oeuvre et d'ouvrage, en termes de stabilité, de fermeture et de sécurité, il faut veiller à ce que les vitrages, les châssis, les accessoires (cales, etc.) et les garnitures d'étanchéité soient compatibles entre eux.

Les fenêtres doivent être posées avec le plus grand soin dans le gros-oeuvre (voir page 36 de ce guide et [19]).

De même, les vitrages doivent être posés et maintenus de manière à ce qu'en aucun cas, ils ne puissent subir de blessures ou contraintes susceptibles de les altérer, voire de les briser.

Il faut donc respecter certaines règles élémentaires reprises dans l'encadré ci-contre.