

LE VERRE

1- PROPRIETES ET FONCTIONS DU VERRE :

De tout temps, le verre a joué un rôle prépondérant dans l'ensemble des constructions. On l'utilise pour ses nombreuses qualités.

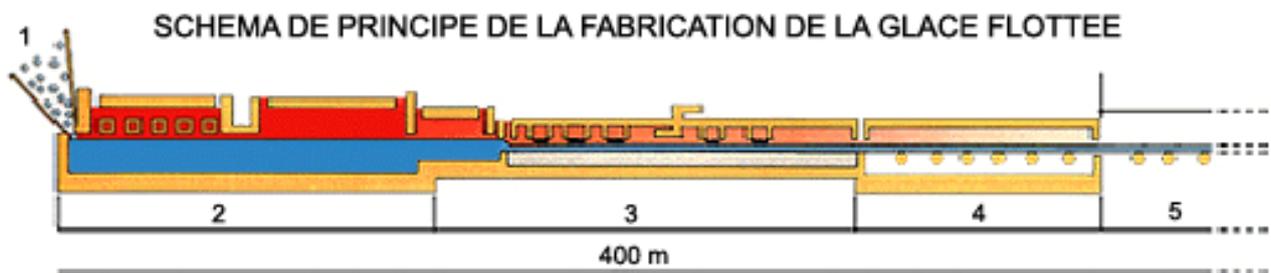
Ses fonctions de transparence, d'isolations phonique et thermique, de maîtrise d'énergie et de protection de l'environnement, de protection solaire, de sécurité en assemblage, d'agencement et de décoration contribuent à l'amélioration du confort de l'habitat.

1-1- Composition :

On utilise dans le bâtiment les verres silico-calciques. Ils sont composés :

- D'un **corps vitrifiant**, la silice, introduit sous forme de sable pour 70 à 72%.
- D'un **fondant**, la soude, sous forme de carbonate et sulfate pour environ 14%.
- D'un **stabilisant**, la chaux, sous forme de calcaire pour environ 10%.
- Divers autres **oxydes tels qu'alumine, magnésie**, destinés à améliorer les caractéristiques physiques du verre, notamment la résistance à l'action des agents atmosphériques.

1-2- Fabrication :



① COMPOSITION VERRIERE :

Au mélange vitrifiable est ajouté du verre cassé (calcin) afin de diminuer la température de fusion. Le transport, la pesée, le mélange et l'enfournement sont faits automatiquement. Le mélange est humidifié afin d'éviter la ségrégation des grains des différentes matières et de dégagement de poussière.

② FOUR DE FUSION :

Trois phases essentielles participent à l'élaboration du verre :

- **La fusion** des matières premières à des températures avoisinant 1550°C.
- **L'affinage** au cours duquel le verre fondu est homogénéisé et débarrassé des bulles gazeuses.
- **Le conditionnement thermique** où le verre peu visqueux est refroidi jusqu'à ce que la viscosité corresponde aux exigences du procédé de mise en forme.

③ BAIN D'ETAIN :

Le verre liquide est déversé sur de l'étain fondu à 1000°C environ. Le verre, moins dense que l'étain, « flotte » sur celui-ci et forme un ruban ayant une épaisseur naturelle de 6 à 7mm.

Les faces du verre sont polies par la surface de l'étain d'une part et par le feu d'autre part. Des dispositifs permettent d'accélérer ou de diminuer l'étalement de verre afin de maîtriser l'épaisseur.

④ FOUR DE RECUISSON :

A la sortie du bain d'étain, le ruban de verre devenu rigide passe par « l'étenderie » qui est un tunnel de refroidissement.

La température du verre s'abaisse régulièrement de 620 à 250°C. Le refroidissement lent se poursuit ensuite à l'air libre.

Il permet de libérer le verre de toutes les contraintes internes qui provoqueraient sa casse lors de la découpe.

⑤ DECOUPE :

Le ruban de verre froid, jusqu'ici continu est découpé automatiquement en plaques de 6000x3210mm (c'est la glace claire de Saint Gobain- SGG Planilux)

2- PRODUITS VERRIERS :

2-1- Verres monolithiques :

VERRE PLAT « FLOAT »

Approvisionnés en continu, les constituants sont portés à 1500°C dans un four

La masse fondue coule sur un bain d'étain en fusion

Refroidissement sans polissage ultérieur.



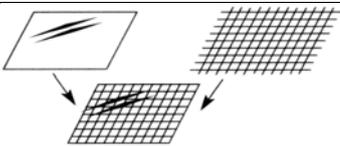
Verres clairs Verres colorés Verres imprimés clairs Verres imprimés colorés Verres armés

Vue transparence	x	x			x
Éclairage naturel	x		x		x
Sécurité au feu (pare-flammes) ¹					x
Protection solaire		x			
Décoration tablettes	x	x	x	x	

1. Sous certaines conditions.

VERRE ARME

Verre coulé dans lequel est incorporé un treillis d'acier.
Les mailles de ce treillis sont de 12.5mm et de 25mm



VERRE A COUCHE

Les vitrages réfléchissants sont obtenus par dépôt d'une couche d'oxyde métallique sur la surface d'une plaque claire.

Procédé pyrolytique

Dépôt de la couche d'O.M. à la sortie du float encore en fusion

Procédé électromagnétique

Le dépôt de la couche d'O.M. se fait par pulvérisation cathodique sous vide

VERRE TREMPE

Transformation du verre plat.

Trempe thermique

La feuille de verre est chauffée uniformément à une température de +700°C (dite de ramollissement).

Trempe Chimique

Remplacement par diffusion d'une partie des ions sodium de verre par des ions potassium provenant d'un seul fondu au contact du verre

Refroidissement très rapide par soufflage d'air froid sur les 2 faces

Obtention d'un état de contraintes permanent

La trempe a 2 effets importants :

Le trempé résiste à des sollicitations extérieures plus élevées que le verre ordinaire.

Sa résistance mécanique est environ 5 fois supérieure à celle du verre ordinaire.

En cas de rupture, le trempé se brise en tous petits morceaux présentant des arêtes émoussées (danger de blessures réduit).

Les produits verriers trempés seront façonnés et découpés avant la trempe.

VERRE PLAT COULE (LA GLACE)

Approvisionnés en continu, les constituants sont portés à 1800°C dans un four

Après avoir été laminée, la masse fondue est nolie sur les 2 faces

MIROIR

Enduction d'une couche d'argent, de cuivre et de vernis de protection sur un verre float.

VERRE IMPRIME

Verre plat coulé imprimé par laminage. Il peut être lisse et poli sur une face.

2-2- Vitrages feuilletés :

Le verre feuilleté est constitué de 2 ou plusieurs verres simples, ou transformés, collés entre eux par un ou plusieurs intercalaires en matières plastiques : le PVB (Butyral de Polyvinyle).

Le PVB assure une bonne adhérence au verre et un taux d'allongement important.

Lors d'un choc, le verre se fendille, mais l'intercalaire maintient les morceaux de verre.

On peut trouver le verre feuilleté sous diverses formes :

- en vitrage isolant feuilleté.
- en vitrage trempé feuilleté.
- en vitrage feuilleté à couches métalliques.
- en vitrage feuilleté composite.

Désignation courante des vitrages feuilletés :

XX.Y :

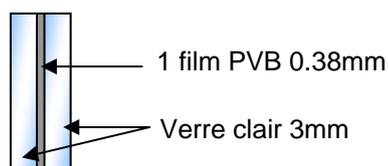
A chaque valeur de X correspond l'épaisseur nominale d'un composant verrier.

La valeur de Y indique le nombre de films PVB, l'épaisseur nominale d'un film étant de 0.38mm.

Exemple :

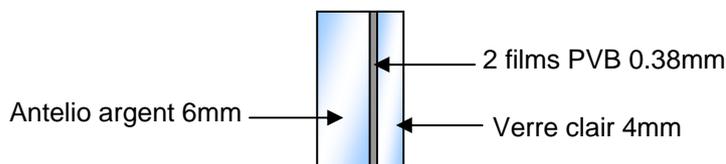
- Feuilleté **33.1** est composé de deux glaces claires de 3mm et d'un film PVB de 0.38mm.

Epaisseur du vitrage = 6 mm.



- Feuilleté **64.2 Antelio argent** est composé d'une glace Antelio argent de 6mm associé à un verre clair de 4mm assemblé par deux films de PVB de 0.38mm.

Epaisseur du vitrage = 10 mm.



Il existe des vitrages feuilletés renforcés contre le vandalisme et l'effraction. Ce sont les STADIP PROTECT de chez St Gobain. On les appelle les SP X (X étant l'épaisseur nominale du vitrage). Le plus courant étant pour l'instant le SP 10 qui est un 44.2 renforcé.

Le feuilleté STADIP PROTECT est également utilisé comme vitrage anti-balles.

EXTRAIT GAMME DES VITRAGES STADIP PROTECT ANTI BALLE

STADIP PROTECT Anti-balles	Epaisseur nominale (mm)	Poids surfacique (kg/m ²)	Type d'armes	Munitions			Distance de tir (m)	Vitesse (m/s) et nombre d'impacts	Classe EN 1063
				Calibre	Type	Masse			
HC 133-S	33	75	Fusil de chasse	12/70	Brenneke	31±0.5	10±0.5	420±20 – 1i	SG1-S
HC 171-NS	71	171	Fusil de chasse	12/70	Brenneke	31±0.5	10±0.5	420±20 – 1i	SG1-NS
HC 247-S	47	114	Fusil de chasse	12/70	Brenneke	31±0.5	10±0.5	420±20 – 1i	SG2-S
HC 284-NS	84	177	Fusil de chasse	12/70	Brenneke	31±0.5	10±0.5	420±20 – 1i	SG2-NS

2-3- Doubles vitrages :

Les doubles vitrages garantissent une bien meilleure isolation thermique que les vitrages monolithiques, tout en gardant les mêmes propriétés de clarté, de sécurité, de contrôle solaire et d'isolation acoustique.

Le procédé consiste à enfermer entre deux glaces une lame d'air déshydraté ou un gaz améliorant l'isolation.

Les deux glaces sont séparées par une intercalaire en aluminium ou à base de liant organique. L'étanchéité périphérique est assurée par des joints organiques.

Enfin des agents déshydratants sont contenus dans l'intercalaire.

Le double vitrage peut être constitué de tout verre monolithique et de verre feuilleté.

L'intégration à l'intérieur de la lame d'air de croisillons en aluminium de couleur laquée, blanche ou marron, imite l'aspect des petits bois. Il permet de retrouver le charme de l'ancien et de bénéficier de la facilité d'entretien et du confort d'aujourd'hui.



POSSIBILITES DE FABRICATION

Composant extérieur (mm)	Lame d'air (mm)	Composant intérieur (mm)	Dimensions maximales		
			L (mm)	l (mm)	L/l
4	6, 8, 10, 12, 14, 15, 16, 20	4, 5, 6	2000	1500	7
5	6, 8, 10, 12, 15, 16, 20	6, 8, 10	2500	2000	10
6	6, 8, 10, 12, 15, 16, 20	8, 10	3800	2500	10
8	6, 8, 10, 12, 15, 16, 20	8, 10	4000 4500	2500 2700	10
10	6, 8, 10, 12, 15, 16, 20	10, 12	5200 5200	2400 2200	10
12	6, 8, 10, 12, 15, 16, 20	12, 15	5200 5200	2000 1800	10

Doc St Gobain

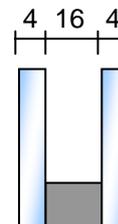
La certification des doubles vitrages est régie par le label CEKAL qui doit apparaître sur le vitrage.

Désignation courante des doubles vitrages :

- **4/16/4** : glace claire de 4mm / air de 16mm/ glace claire 4mm

Épaisseur du vitrage = 24 mm.

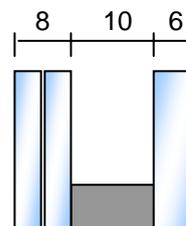
Épaisseur nominale de verre = 8 mm.



- **44.2/10/6** : feuilleté 44.2 / air 10mm / glace claire 6mm

Épaisseur du vitrage = 24 mm.

Épaisseur nominale de verre = 14 mm.



3- APPLICATIONS ET CHOIX :

3-1- Tableaux de choix selon l'application recherchée :

Produits									
Applications	Simple	Trempé	Armé	Miroir	Imprimé	À couches	Isolant	Feuilleté PVB	Feuille résine
Fermeture									
Thermique et solaire									
Isolation acoustique								④	
Sécurité							①		②
Décoration							①	③	
Anti-feu							①	①	
Anti-U.V.							①		②

① À condition que un (des) panneau(x) du vitrage soit (soient) du (des) verre(s) transformé(s) au type d'application requise.

② Dépendant du type de résine.

③ PVB décoré.

④ Films « silence ».

3-2- Tableaux de choix selon les critères de sécurité :

Produits						
Applications	Feuilleté PVB	Feuille résine	Trempé	Acrylique (PMMA)	Poly-carbonate	Films polyester
Anti-blessures (débris non coupants)	😊😊😊	😊😊	😊😊	😊	😊😊😊	😊
Anti-vandalisme (jet de pierre)	😊😊😊	😊😊	😊😊😊	😊	😊😊😊	😊
Retardateurs d'effraction (pieds de biche, hache...)	😊😊😊	😊 ^①	😊	😊	😊😊😊	😊
Anti-balles	😊😊😊	😊 ^①	😊😊😊	😊	😊😊😊 ^②	😊
Résistance à l'abrasion	😊😊😊	😊😊😊	😊😊😊	😊	😊	😊
Résistance au vieillissement	😊😊😊	😊😊😊 ^①	😊	😊	😊	😊
Protection aux U.V.	😊😊😊	😊😊😊 ^①	😊	😊😊😊	😊😊😊	😊😊😊
Stabilité dimensionnelle	😊😊😊	😊😊😊	😊	😊	😊	😊
Esthétique	😊😊😊	😊😊	😊😊😊	😊	😊😊😊 ^③	😊

😊😊😊 Excellent 😊😊 Moyen 😊 Acceptable 😞 Inacceptable/déconseillé

① Dépend de la résine coulée

② En assemblage avec du verre/PU/PC

③ Alvéolaire

4- PROPRIETES PHYSIQUES, CHIMIQUES ET MECANIQUES :

4-1- Densité :

La densité du verre est de **2.5** ce qui donne une masse de 2.5 kg par m² et par mm d'épaisseur pour les vitrages plans.

Applications :

Calculer le poids des vitrages suivants :

- Verre claire 4mm de dimensions 1000x1000 mm:
- Feuilleté 33.2 de dimensions 1000x500 mm:
- Double vitrage 4/16/4 de dimensions 1250x1100 mm :
- Double vitrage 55.2/12/8 de dimensions 3500x600 mm:

4-2- Résistance à la compression :

La résistance du verre à la compression est très élevée. Elle est de l'ordre de 1000 N/mm² soit 1000 MPa.

Ainsi pour briser un cube de verre de 1 cm de côté, la charge nécessaire est de l'ordre de 10 tonnes.

4-3- Résistance à la flexion :

Un vitrage soumis à la flexion a une face en compression et l'autre en extension.

La résistance à la rupture en flexion est de l'ordre de :

- 40 MPa (N/mm²) pour un vitrage poli recuit.
- 120 à 200 MPa pour une glace trempée (suivant épaisseur, façonnage des bords et type d'ouvrage).

La valeur élevée de la résistance de la glace trempée est due au fait que le traitement met les faces du vitrage en forte compression.

4-4- Elasticité :

Le verre est un matériau parfaitement élastique : il ne présente jamais de déformation permanente.

Il est cependant fragile, c'est à dire que, soumis à une flexion croissante, il casse sans présenter de signes précurseurs.

4-5- Module de Young E :

Ce module exprime la force de traction qu'il faudrait théoriquement appliquer à une éprouvette de verre pour lui communiquer un allongement égal à sa longueur initiale. Il s'exprime en force par unité de surface.

Pour le verre, selon les normes européennes :

$$E = 7 \times 10^{10} \text{ Pa} = 70 \text{ GPa}$$

4-6- Coefficient de Poisson μ :

Coefficient de Poisson μ (coefficient de contraction latérale)

Lorsqu'une éprouvette subit un allongement sous l'influence d'une contrainte mécanique, on constate un rétrécissement de sa section. Le coefficient de Poisson μ est le rapport entre le rétrécissement unitaire sur une direction perpendiculaire au sens de l'effort et l'allongement unitaire dans la direction de l'effort.

Pour les vitrages du bâtiment, la valeur du coefficient est de 0.22.

4-7- Comportement thermique :

Dilatation linéaire

La dilatation linéaire est exprimée par un coefficient mesurant l'allongement par unité de longueur pour une variation de 1°C. Ce coefficient est généralement donné pour un domaine de température de 20° à 300°.

Le coefficient de dilatation du verre est de 9.10^{-6}

Exemple :

Un vitrage de 2 m de longueur (soit 2000 mm) s'échauffant de 30° se dilatera de :
 $2000 \times 9.10^{-6} \times 30 = 0.54 \text{ mm}$

Applications :

Le vitrage d'une vitrine de magasin mesure 4500 x 2500 mm. En plein soleil en été, le vitrage est confronté à des températures de 60°C. Calculer les dimensions du vitrage une fois dilaté :

4-8- Comparaison de comportements thermiques :

Coefficient de dilatation linéaire d'autres matériaux

	Coefficient de dilatation linéaire	Rapport approximatif
Bois (sapin)	4×10^{-6}	0.5
Brique	5×10^{-6}	0.5
Pierre (calcaire)	5×10^{-6}	0.5
Verre	9×10^{-6}	1
Acier	12×10^{-6}	1.4
Ciment (mortier)	14×10^{-6}	1.5
Aluminium	23×10^{-6}	2.8
Chlorure de polyvinyle (PVC)	70×10^{-6}	8

4-9- Contraintes :

Contraintes d'origine thermique

Etant donné la faible conductivité thermique du verre (le verre est un isolant), le réchauffement ou le refroidissement partiel d'un vitrage entraîne dans celui-ci des contraintes pouvant provoquer des casses dites thermiques.

L'exemple le plus fréquent de risque de casse thermique concerne les bords d'un vitrage absorbant pris dans une feuillure, soumis à un fort ensoleillement et qui se réchauffent plus lentement que la surface de vitrage.

Lorsque les conditions d'utilisation ou de mise en œuvre risquent d'entraîner dans un vitrage des différences de température importantes (voir normes ou réglementations), il sera nécessaire de prendre des précautions particulières **de pose et de façonnage**.

Un traitement thermique complémentaire permet au verre de supporter des différences de températures de 150 à 200°C.

5- LE VERRE ET L'ISOLATION THERMIQUE :

5-1- Echanges de chaleur à travers une paroi

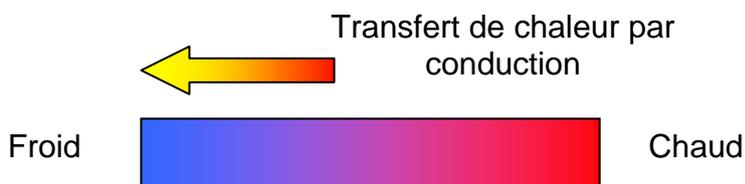
Ils se font selon trois modes de propagations :

- **Conduction :**

La conduction qui consiste à un transfert de chaleur, sans transmission de matière, au sein d'un corps ou entre deux corps en contact direct.

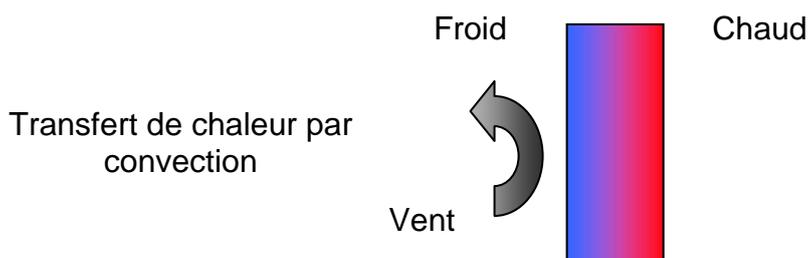
Le flux de chaleur entre les deux faces d'un vitrage dépend de l'écart de température entre ces deux faces et de la conductivité thermique du matériau :

La conductivité thermique du verre est : $\lambda = 1.0 \text{ W}/(\text{m.K})$



- **Convection :**

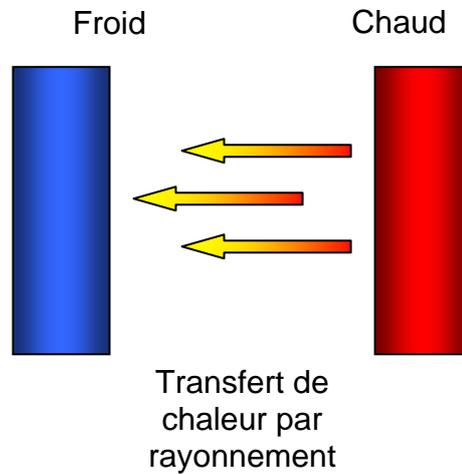
La convection qui consiste en un transfert de chaleur, avec déplacement de matière, entre la surface d'un solide et un fluide liquide ou gazeux.



- **Rayonnement :**

Le rayonnement qui consiste en un transfert de chaleur résultant d'un échange par rayonnement entre deux corps se trouvant à des températures différentes. Il est proportionnel à l'émissivité des corps.

Emissif : qui a la faculté à émettre des rayons.



5-2- Transmission thermique d'une paroi

5-2-1- Coefficient U :

Lorsqu'une paroi est en contact avec l'air, elle échange de la chaleur par conduction et par convection avec cet air et par rayonnement avec son environnement.

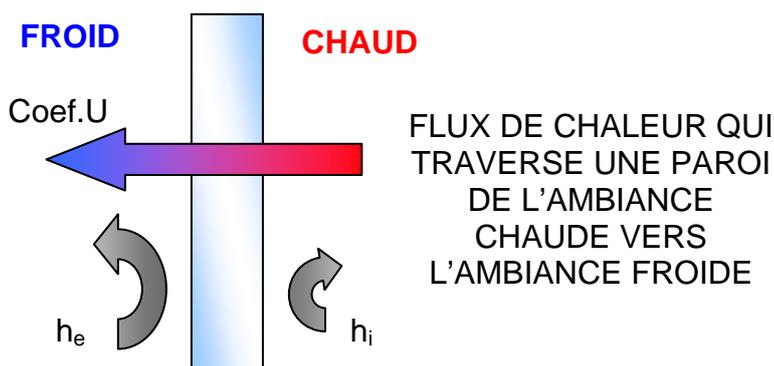
Ces transferts sont normalisés et leurs valeurs sont :

- pour les échanges extérieurs : $h_e = 23 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
- pour les échanges intérieurs : $h_i = 8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

Les transferts thermiques à travers une paroi par conduction, convection et rayonnement s'expriment par **le coefficient U**.

Le coefficient U caractérise les déperditions thermiques d'une paroi.

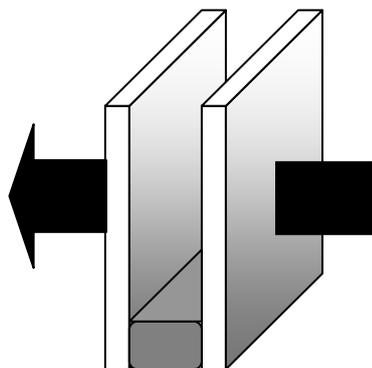
Celui ci représente le flux de chaleur qui traverse 1 m^2 de paroi pour une différence de température de 1 degré entre l'intérieur et l'extérieur du local. Sa valeur conventionnelle est établie pour les coefficients d'échange superficiel h_e et h_i définis précédemment. Il est calculé selon la norme EN 673.



Les déperditions de chaleur sont moins importantes quand le coefficient U est faible

W (watt)	m^2 (1 m^2)	K (1°)
Plus U est faible	→	Meilleure isolation

5-2-2- Vitrage isolant :

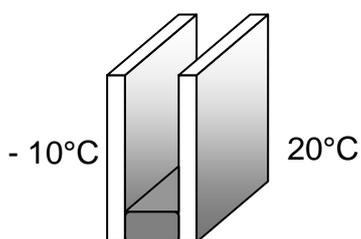


Diminution des pertes de chaleur en intercalant de l'air entre les deux verres.

U diminue quand on augmente l'épaisseur de la lame d'air.

4/6/4 U = 3.3
4/16/4 U = 2.7

5-2-3- Energie perdue pour 1m² :



Simple vitrage 4mm	-174W
Double vitrage 4/12/4 – verre + air + verre	-87 W
Double vitrage 4/16/4 – verre + air + verre Planitherm	-42 W
Double vitrage 4/16/4 – verre + argon + verre Futur N	-33 W

5-3- Le verre et le rayonnement solaire :

5-3-1- Emissivité :

L'émissivité est une caractéristique de surface des corps. **Plus l'émissivité est faible, plus le transfert de chaleur par le rayonnement est faible.**

LE CORPS NOIR A UNE EMISSIVITE = 1

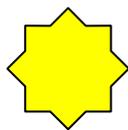
Surface glace claire SGG PLANILUX	0.89
Couche SGG EKO PLUS	0.16
Couche SGG PLANITHERM	0.09
Couche SGG PLANITHERM FUTUR N	0.05
Surface de l'or poli	0.05

L'émissivité du verre ϵ_n est de 0.89.

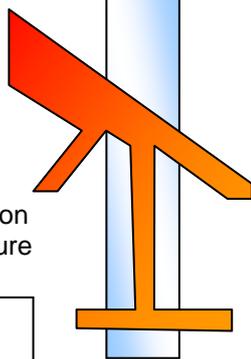
Certains verres peuvent être recouverts d'une couche dite faiblement émissive pour laquelle ϵ_n peut être inférieure à 0.10.

5-3-2- Flux solaire :

Flux
solaire
100%



R
Réflexion
extérieure



T
Transmission

A
Absorption

Le flux solaire vient frapper un vitrage, une partie est réfléchi (**facteur de réflexion**), une autre est absorbée dans l'épaisseur (**facteur d'absorption**) et une troisième est transmise (**facteur de transmission**)

R + A + T = 100%
Facteur lumineux
Facteur énergétique

6- L'ISOLATION ACOUSTIQUE RENFORCEE :

Le vitrage et le châssis constituent ensemble l'élément important qui détermine l'isolation acoustique de toute fenêtre et dans certains cas de toute façade.

6-1- Le son :

C'est la sensation auditive due à des vibrations de molécules. Cette vibration produit des variations de pression.

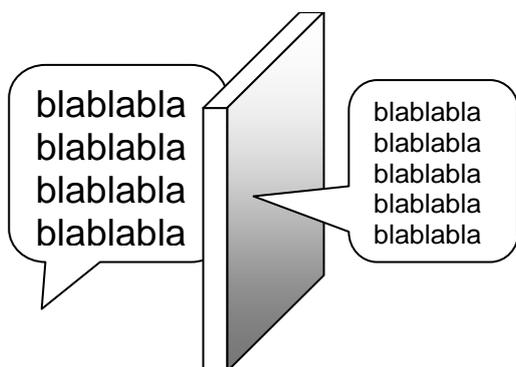
6-2- Le niveau acoustique :

Les niveaux d' »intensité acoustique » s'expriment en décibels (dB).

Si le niveau acoustique augmente de 3dB, cela signifie que le bruit est augmenté du double.

6-3- Indice acoustique :

INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE



Différence entre le niveau acoustique émis d'un côté et le niveau acoustique reçu de l'autre.

(La valeur de cet indice dépend du spectre de référence qui est différent selon les normes.)

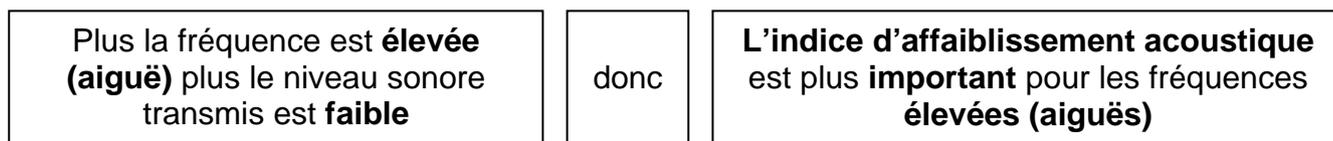
En France, on utilise un « **bruit normalisé** », appelé « **bruit route** ».

L'indice **RA, Tr** s'exprime en **dB(A)**.

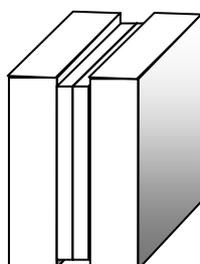
6-4- Loi de masse :



6-5- Loi de fréquence :



6-6- Solutions constructives :

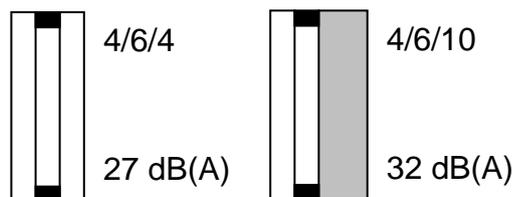


Deux vitrages assemblés à l'aide d'un ou plusieurs films « **PVB acoustique** »

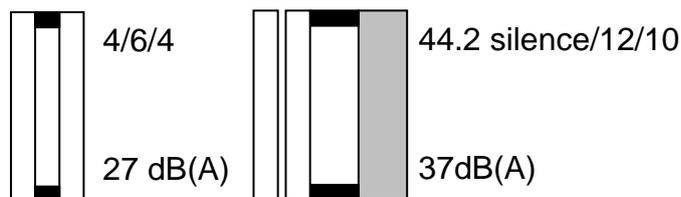
6-7- Vitrage isolant :

LE VITRAGE ISOLANT : les solutions

1- Le vitrage isolant « asymétrique »



2- Les feuilletés acoustiques



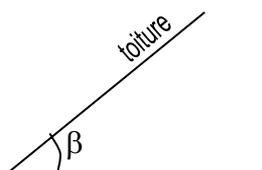
7- DETERMINATION DES EPAISSEURS DE VITRAGES :

Le verre doit répondre à de nombreuses exigences physiques, mécaniques, esthétiques et environnementales. Parmi celles-ci, l'épaisseur de vitrage joue un rôle très important dans certaines constructions. Il importe donc de se référer au DTU 39 version 1993 (NF P 78-201-1).

La détermination de l'épaisseur du vitrage dépend :

- des charges climatiques (vent, neige)
- des dimensions, des caractéristiques du vitrage, de la façon dont il est mis en œuvre.

On distingue deux démarches de calcul :



Si $\beta > 60^\circ$: calcul en vitrage vertical soumis à l'action du vent.

Si $\beta \leq 60^\circ$: calcul en vitrage en toiture soumis à l'action la plus défavorable

- du vent.
- de la neige augmentée du poids propre.

7-1- LES VITRAGES VERTICAUX :

7-1-1- La pression du vent :

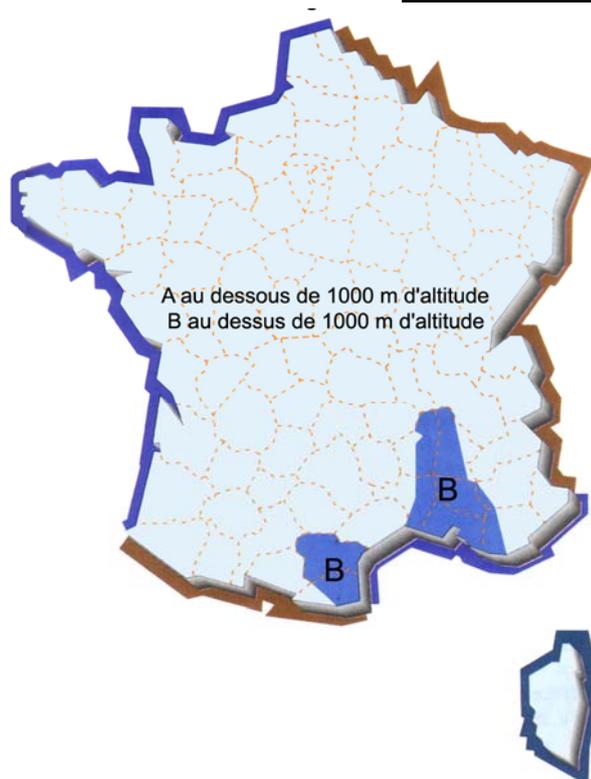
La pression du vent est nommée P1 et est fonction de l'exposition du vitrage.

- **Exposition du vitrage :**

Les éléments à prendre en compte sont :

- la région où se situe la construction (voir carte des régions de vent)
- la situation de la construction : quatre situations a, b, c, et d.
- la hauteur au dessus du sol : hauteur de la partie haute du vitrage voir tableau des pressions de vent).

CARTE DES REGIONS DE VENTS



- **Région A** : celle d'altitude < 1000 m dans la zone claire de la carte.
- **Région B** : celle d'altitude > 1000 m dans la zone claire ou à toute altitude dans la zone foncée de la carte.

SITUATION DE LA CONSTRUCTION

- a** Constructions situées à l'intérieur des grands centres urbains (villes où la moitié au moins des bâtiments ont plus de quatre niveaux).
- b** Constructions situées dans les villes petites et moyennes ou à la périphérie des grands centres urbains.
- c** Constructions isolées en rase campagne.
- d** Constructions isolées en bord de mer ou situées dans les villes côtières lorsque ces constructions sont à une distance du littoral inférieure à 15 fois leur hauteur réelle.

TABLEAU DES PRESSIONS DU VENT (Pa)

Hauteur du vitrage au-dessus du sol (m)	REGION A				REGION B		
	Situation				Situation		
	a	b	c	d	a	b	c
≤6	600	600	900	1400	800	900	1300
6 à 18	600	800	1100	1600	900	1100	1600
18 à 28	700	900	1200	1700	1000	1300	1800
28 à 50	900	1100	1300	1800	1300	1600	2000
50 à 100	1100	1300	1500	1900	1700	2000	2300

- **Exemple :**

3^{ème} étage d'une construction à Dax centre.

Région A (altitude <1000m)

Situation b

Hauteur au dessus du sol de 6 à 18 m

} P1 = 800 Pa

Dans le cas de vitrage situé à l'intérieur de locaux (cloisons intérieures par exemple), on retiendra une pression conventionnelle de 600Pa.

7-1-2- Dimension, forme et calage des vitrages :

Les règles de dimensionnement s'appliquant à des **vitrages rectangulaires** de grand côté L et de petit côté l. De plus, le dimensionnement est fonction **du nombre de côtés appuyés** et donc du nombre de feuillures.

Les vitrages non rectangulaires sont assimilés au plus petit vitrage rectangulaire circonscrit au vitrage réel.

7-1-3- Calcul de l'épaisseur :

Les relations indiquées dans le tableau sont issues de la théorie générales de flexion des plaques (Timoshenko) et s'appliquent à des **vitrages plans recuits et non armés**.

Le choix des relations dépend :

- du nombre de côtés appuyés.
- de l'élançement L/l.
- de la dimension du bord libre.

Vitrage pris en feuillure sur 4 côtés		
Si $L/l \leq 3$	Si $L/l > 3$	
$e = \sqrt{\frac{S \times P}{72}}$	$e = \frac{l \sqrt{P}}{4,9}$	
Vitrage pris en feuillure sur 3 côtés		
Le bord libre est le petit côté l	Le bord libre est le grand côté L	
	Si $L/l \leq 9$	Si $L/l > 9$
$e = \frac{l \sqrt{P}}{4,9}$	$e = \sqrt{\frac{3 S \times P}{72}}$	$e = \frac{3 l \sqrt{P}}{4,9}$
Vitrage pris en feuillure sur 2 côtés opposés		
$e = \frac{l \sqrt{P}}{4,9}$		
Dans ce cas « l » désigne la longueur des bords libres même si cette longueur est le grand côté		

L : grande dimension du vitrage en m.

l : petite dimension du vitrage en m

S : surface du vitrage en m²

P : pression du vent

e : épaisseur en mm



Une tolérance de fabrication $\pm 0.2\text{mm}$ doit être appliquée sur les épaisseurs de vitrage.

Ex. : un verre ép. 4mm a une ép. mini de 3.8mm et maxi de 4.2mm.

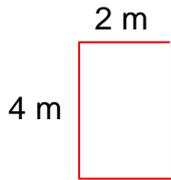
Coefficient d'équivalence ϵ		
Type de vitrage		ϵ
Vitrage armé		1.20
Vitrage trempé	P < 900 Pa	0.80
	P ≥ 900 Pa	0.75
Vitrage feuilleté	Double	1.30
	Triple	1.60
Vitrage isolant	Double	1.50
	Triple	1.70

Coefficient de réduction C pour les châssis fixes

C = 0.9 (cas généraux)

C = 0.8 $\left\{ \begin{array}{l} S > 5 \text{ m}^2 \\ H < 6 \text{ m} \end{array} \right.$

Exemple 1 :



Appui 3 côtés
 $L/l = 4/2 = 2 \leq 9$
 Bord libre L

$$e = \sqrt{\frac{3 S \times P}{72}} \times C \times \varepsilon$$

e = épaisseur du vitrage (mm)

S = surface du vitrage (m²)

P = pression du vent (Pa)

C = coef. De réduction pour les vitrages fixes.

ε = facteur d'équivalence pour les vitrages autres que recuit.

Exemple 2 :

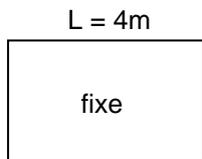
Déterminer l'épaisseur pour un vitrage feuilleté de verre de vitrine sans ouvrant de 4m de large et 2m de haut en plein centre de Marseille.

1- Pression de vent :

Région B
 Situation a
 H < 6m

$$P1 = 800 \text{ Pa}$$

2- Epaisseur de verre :



L = 4m
 fixe
 l = 2m

Appui 4 côtés
 $L/l = 2 < 3$

$$\text{donc } e = \sqrt{\frac{S \times P}{72}} \times C \times \varepsilon$$

C = 0.8
 $\varepsilon = 1.3$
 S = 4 x 2 = 8m²
 P1 = 800 Pa

$$e = \sqrt{\frac{8 \times 800}{72}} \times 0.8 \times 1.3 = 9.80 \text{ mm}$$

Choix : feuilleté 55.2 = 5 + 5 = 10 mm

Tolérance de fabrication ± 0.2 mm donc 4.8 + 4.8 = 9.30 mm < 9.80 mm → **Pas bon**

Choix : feuilleté 66.2 = 5.8 + 5.8 = 11.60 mm → **OK**

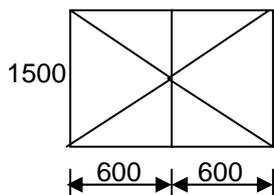
Exemple 3 :

Épaisseur pour un double vitrage (2 faces glace claire recuite) pour une fenêtre à la française 2 vtx de 1200 x 1500. Le chantier se situe dans une maison face à la mer en Rdc à St Jean de Luz.

Pression du vent :

Région A
Situation d
H < 6m } P1 = 1400 Pa

Épaisseur du verre :



Appui 4 côtés

$$L/l = 1500/600 = 2.5 < 3 \text{ donc}$$

$$\text{Donc } e = \sqrt{\frac{S \times P}{72}} \times C \times \varepsilon$$

$$S = 1.5 \times 0.6 = 0.9 \text{ m}^2$$

$$P1 = 1400 \text{ Pa}$$

$$C = 1 \text{ (car le châssis est un ouvrant)}$$

$$\varepsilon = 1.5$$

$$e = \sqrt{\frac{0.9 \times 1400}{72}} \times 1 \times 1.5 = 6.27 \text{ mm}$$

Choix : 1 face de 4mm + 1 face de 4mm = 3.8 + 3.8 = 7.6 > 6.27 mm.

ou 1 face de 4mm + 1 face de 3mm = 3.8 + 2.8 = 6.6 > 6.27 mm.

Exemple 4 :

Dans un mur rideau type MC à trame horizontale situé en périphérie de Toulouse, une allège est vitrée avec un double vitrage comprenant une face feuilleté (2 verres) et une face trempée.

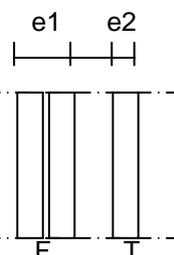
Dimension du vitrage : 1200 x 1000 mm.

Hauteur du vitrage au-dessus du sol = 4 m.

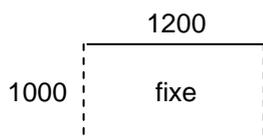
Pression du vent :

Région A
Situation b
H < 6m } P1 = 600 Pa

Vitrage voulu



Épaisseur du verre :



Appui 2 côtés

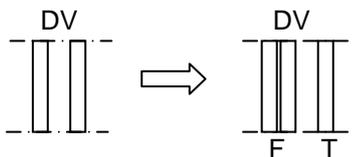
$$L/l = 1200/1000 = 1.2$$

$$e = \frac{l \sqrt{P}}{4.9} \times C \times \varepsilon$$

On peut calculer l'épaisseur de plusieurs manières :

- 1- en partant d'un double vitrage 2 verres recuits on le fait devenir 1 face feuilletée + 1 face trempée.
- 2- en partant d'un vitrage trempé on le fait devenir un double vitrage avec 2 faces trempées puis on le fait devenir un double vitrage avec 1 face trempée et 1 face feuilletée.
- 3- en partant d'un feuilleté on le fait devenir un double vitrage avec 2 faces feuilletés puis on le fait devenir un double vitrage avec 1 face feuilletée et 1 face trempée.

Première solution :



- Double vitrage 2 faces recuites : $C = 0.9$ et $\varepsilon = 1.5$

$$e = \frac{1\sqrt{600}}{4,9} \times 0.9 \times 1.5 = 6.75 \text{ mm} \quad \text{donc } 6.75 / 2 = 3.375 \text{ mm}$$

- 1 face feuilletée :

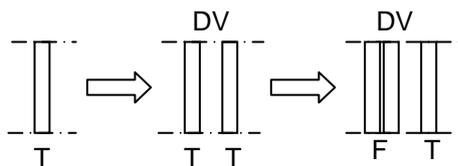
$$e1 = 3.375 \times 1.3 = 4.38 \text{ mm} \quad \text{Choix : } 33.2 = 2.8 + 2.8 = 5.6 > 4.38 \text{ mm}$$

- 1 face trempée :

$$e2 = 3.375 \times \varepsilon = 3.375 \times 0.8 = 2.7 \text{ mm.} \quad \text{Choix : } 3 \text{ mm} = 2.8 > 2.7 \text{ mm}$$

Choix : Double vitrage 33.2 /air/ 3 trempée

Deuxième solution :



- Vitrage trempé : $C = 0.9$ et $\varepsilon = 0.8$

$$e = \frac{1\sqrt{600}}{4,9} \times 0.9 \times 0.8 = 3.60 \text{ mm}$$

- Double vitrage 2 faces trempées :

$$e2 = 3.60 \times \varepsilon = 3.60 \times 1.5 = 5.40 \text{ mm} \quad \text{donc } 5.4 / 2 = 2.7 \text{ mm} \quad \text{Choix : } 3 \text{ mm}$$

- 1 face feuilletée :

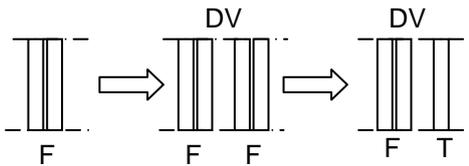
$$e1 = \frac{2.7}{0.8} \times 1.3 = 4.38 \text{ mm}$$

avec ε , on doit ramener le trempé en recuit avant de le retransformer en feuilleté. Choix : 33.2



Choix : Double vitrage 33.2 /air/ 3 trempée

Troisième solution :



- *Vitrage feuilleté* : $\varepsilon = 1.3$

$$e = 1 \frac{\sqrt{600}}{4,9} \times 0.9 \times 1.3 = 5.85 \text{ mm}$$

- *Double vitrage 2 faces feuilletées* :

$$e1 = 5.85 \times \varepsilon = 5.85 \times 1.5 = 8.77 \text{ mm} \quad \text{donc } 8.77 / 2 = 4.38 \text{ mm} \quad \text{Choix : 33.2}$$

- *1 face trempée* :

$$e2 = \frac{4.38}{1.3} \times 0.8 = 2.7 \text{ mm} \quad \text{Choix : 3 mm}$$

Choix : Double vitrage 33.2 /air/ 3 trempée

7-2- LES VITRAGES EN TOITURE :

Les règles sont applicables pour les bâtiments dont la hauteur est inférieure ou égale à 50 mètres.

7-2-1- Calcul de l'épaisseur :

Le calcul se fait à l'aide des relations de flexion des plaques. La pression P à prendre en compte sera la **plus défavorable des deux valeurs** :

- P1 : pression de vent définie précédemment.
- P2 : charge de neige + poids propre du vitrage.

$$P2 = 1.5 (\varphi S_o + pp)$$

φS_o = charge de neige par m² de vitrage.

pp = poids propre du vitrage $M_v = 2.45 \text{ kg/m}^2/\text{mm} = 2.45 \text{ daN/m}^2/\text{mm}$

7-2-2- Charge de neige à prendre en compte :

Charge de neige = φS_o

S_o = charge de neige à l'altitude considérée (en Pa)

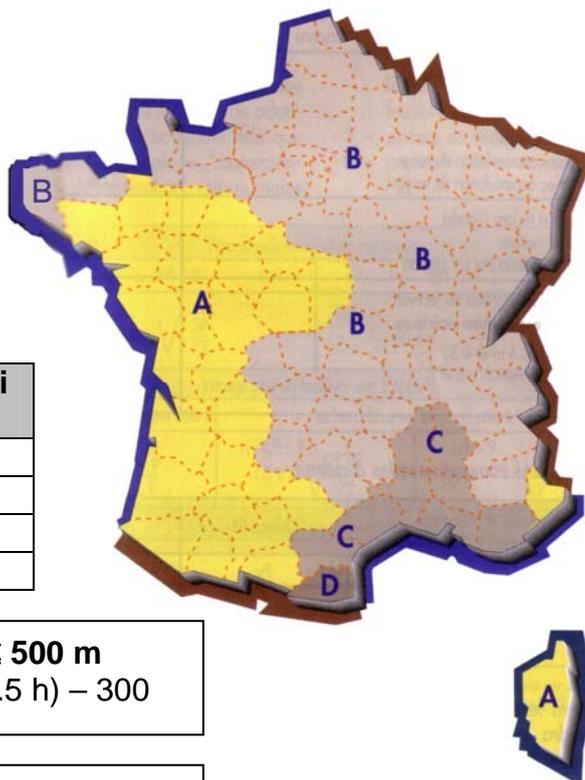
φ = coefficient de forme tenant compte des risques d'accumulation de neige.

- **Charge de neige altitude $h < 200$ mètres : S_o mini**
 - Fonction de la région (voir carte des régions de neige)
 - Fonction de S_o mini (voir tableau)

- **Charge de neige à l'altitude h : S_o**
Voir tableau des altitudes.

- **Coefficient de forme φ :**
Voir tableau correspondant

CARTE DES REGIONS DE NEIGE



REGION	S_o mini (Pa)
A	450
B	550
C	650
D	900

$$200 < \text{Alt } h \leq 500 \text{ m}$$

$$S_o = (S_o \text{ mini} + 1.5 h) - 300$$

$$500 < \text{Alt } h \leq 1000 \text{ m}$$

$$S_o = (S_o \text{ mini} + 3 h) - 1050$$

$$1000 < \text{Alt } h \leq 2000 \text{ m}$$

$$S_o = (S_o \text{ mini} + 4.5 h) - 2550$$

PRESSION DE NEIGE P2 (Pa)

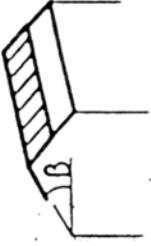
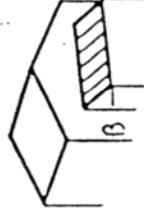
$$P2 = 1.5 (\varphi S_o + pp)$$

φ = coefficient de toiture (voir tableau suivant)

pp = $e \times 24.5$ Pa

e : épaisseur nominale en mm.

S_o mini = charge de neige minimum en Pa (voir tableau) si altitude < 200 m

Définition de la toiture $\beta \leq 60^\circ$		Valeurs du coef. j	
 <p> Vitrages de toitures supérieures n'allant pas jusqu'au bord de celles-ci quelle que soit l'altitude : à 1 versant ou 2 versants </p>		φ 1,0	
 <p> Vitrages situés en bord de toiture : <ul style="list-style-type: none"> • à une altitude > 500 m • à une altitude ≤ 500 m - avec possibilité d'accumulation de la neige en bord de toiture - sans possibilité d'accumulation de la neige en bord de toiture </p>		1,6 1,6 1,0	
<p>Toitures à redans*</p> 	<p>Toitures courbes</p> 	<p>Verrières inférieures sur pignon</p> 	1,6
<p>Toitures à redans*</p> 	<p>coefficient forfaitaire global</p> <p>Verrières susceptibles de recevoir de la neige d'une toiture supérieure :</p> <ul style="list-style-type: none"> • $3 \text{ m} \leq h \leq 6 \text{ m}$ et $\beta < 30^\circ$ • dans tous les autres cas pour lesquels $h \leq 6 \text{ m}$ • si $h > 6 \text{ m}$, une étude particulière est nécessaire 		2,2 1,6

* Dans le cas de toitures à redans, par convention, β est le plus petit des 2 angles quelle que soit la situation de la partie vitrée.

Exercice d'application :

Déterminer l'épaisseur d'un vitrage feuilleté (2 verres) d'une véranda réalisée en rase campagne à Montpellier ($h < 200$ m).

Angle de toiture = 40°

Hauteur de l'accroche murale = 3 m.

Longueur de chevron = 2500 mm.

Longueur entre chevrons = 800 mm.

Neige : région C
Alt < 200 m donc $S_o = S_o \text{ mini} = 650$ Pa
 $\varphi = 1.6$

- $\varphi S_o = 1.6 \times 650 = 1040$ Pa
- pp: hypothèse: feuilleté 44.2 donc épaisseur nominale $4.2 + 4.2 = 8.4$ mm
 $e \times 24.5$ Pa = $8.4 \times 24.5 = 205.8$ Pa
- $P2 = 1.5 (\varphi S_o + pp) = 1.5 (1040 + 205.8)$
 $P2 = 1868.7$ Pa

Pression de vent:

Région A
Situation c
 $H = 3\text{m} < 6\text{m}$ } **$P1 = 900$ Pa**

$P2 > P1$ donc $P2 = 1868.7$ Pa = cas de charge

Calcul de l'épaisseur :

Appui sur 2 côtés

$$e = \frac{1\sqrt{P}}{4,9} \times C \times \varepsilon = \frac{0.8\sqrt{1868.7}}{4,9} \times 0.9 \times 1.3 = 8.26 \text{ mm}$$

donc feuilleté $44.2 = 3.8 + 3.8 = 7.6$ mm < 8.26 mm → **PAS BON**

Hypothèse sur le vitrage :

Feuilleté 55.2 donc ép. nominale = $5.2 + 5.2 = 10.4$ mm

pp = $10.4 \times 24.5 = 254.8$ Pa

$\varphi S_o = 1040$ Pa

$P2 = 1.5 (1040 + 254.8)$

$P2 = 1942.2$ Pa

$$e = \frac{1\sqrt{P}}{4,9} \times C \times \varepsilon = \frac{0.8\sqrt{1942.2}}{4,9} \times 0.9 \times 1.3 = 8.42 \text{ mm}$$

donc feuilleté $55.2 = 4.8 + 4.8 = 9.6$ mm > 8.42 mm → **OK**

EXERCICE : STATION DE SKI

Déterminer l'épaisseur d'un double vitrage comprenant une face feuilleté et une face en glace claire Planilux d'une verrière placée en pignon d'un restaurant situé à la station de ski « les Agudes ».

Altitude 1500m.

Angle de toiture = 4.5°

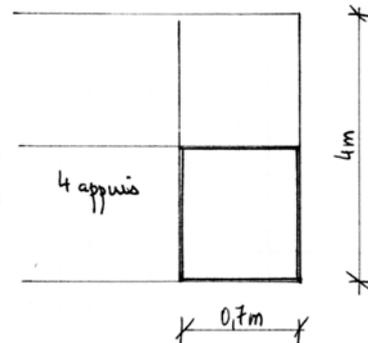
Longueur de chevron = 4m avec une traverse à mi-longueur.

Longueur entre chevron = 0.70m

CORRECTION = Station de Ski

⊗ Pression du vent :

Région B }
Situation C } $P_1 = 1300 \text{ Pa}$
 $H < 6 \text{ m}$



⊗ Charge de neige + poids propre =

• Région A $\rightarrow S_0 \text{ mini} = 450 \text{ Pa}$

$$1000 < A_{\text{Et}} < 2000$$

• $S_0 = S_0 \text{ mini} + (4,5 \times 1500) = 2550$

$$S_0 = 4650 \text{ Pa}$$

• $\psi = 1,6$

Prenons 1 feuilleté de 44-2 \rightarrow hypothèse -

et 1 recuit de 4 \rightarrow hypothèse -

$$pp = 24,5(8 + 0,4 + 4 + 0,2) = 308,7 \text{ Pa}$$

$$\text{donc } P_2 = 1,5(\psi \times S_0 + pp)$$

$$P_2 = 1,5(1,6 \times 4650 + 308,7) = 11623 \text{ Pa}$$

⊗ Pression la plus défavorable entre vent et neige + pp =

on prend $P_2 = 11623 \text{ Pa}$ -

⊗ Prise en feuillure = 4 côtés

$$\frac{L}{l} = \frac{2}{0,7} = 1,4 \quad \text{donc } e = \sqrt{\frac{S \cdot P}{72}} \times C \times E$$

$$e = \sqrt{\frac{2 \times 0,7 \times 11623}{72}} \times 0,9 \times 1,5$$

$$e = 20,29 \text{ mm}$$

hypothèse de départ : 44-2 + 4

feuilleté =

$$e_1 = \frac{3,8 + 3,8}{1,3} = 5,85 \text{ mm}$$

glace claire =

$$e_2 = 3,8 \text{ mm}$$

$$\text{donc } e_1 + e_2 = 5,85 + 3,8 = 9,65 \text{ mm} < 20,29 \text{ mm} \rightarrow \text{NON VERIFIE}$$

⊗ Choix du vitrage =

prenons un double vitrage de 2 recuits de $\frac{20,29}{2} \approx 10,15 \text{ mm}$ chacun.

choix : 1 recuit de 11 mm ($10,8 > 10,15 \rightarrow \text{OK}$)

1 feuilleté de $10,15 \times 1,3 = 13,2 \rightarrow 77-2$ ($14 - 0,4 = 13,6 > 13,2 \rightarrow \text{OK}$)

$$p_p = 24,5 \times (11 + 0,2 + 14 + 0,4) = 627,2 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 1,5 (S_0 \times \psi + p_p) = 12101 \text{ Pa}$$

$$e = \sqrt{\frac{0,7 \times 2 \times 12101}{72}} \times 0,9 \times 1,5 = 20,71 \text{ mm.}$$

⊗ vérification = hypothèse : 11 mm + 77-2

⊗ Feuilleté : $e_1 = \frac{13,6}{1,3} = 10,46 \text{ mm}$

⊗ recuit = $e_2 = 10,8 \text{ mm}$

$$e_1 + e_2 = 10,46 + 10,8 = 21,26 \text{ mm}$$

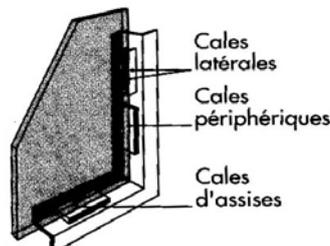
$$e_1 + e_2 > 20,71 \text{ mm} \rightarrow \text{C'EST BON}$$

8- CALAGE DU VITRAGE :

8-1- Fonction du calage :

Le calage assure et maintient le positionnement correct du vitrage dans la feuillure. Il est généralement obtenu par des cales ponctuelles qui évitent le contact entre vitrage et châssis et permettent de reporter le poids du vitrage sur des points précis du châssis.

Il existe plusieurs types de cales :



- **Cales d'assise (C1)** : elles transmettent le poids du vitrage au châssis.
- **Cales périphériques** : mises en fond de feuillures, elles évitent le glissement du vitrage dans son plan, notamment lors des manœuvres des vantaux, et contribuent, dans la plupart des cas (**cales ajustées C2**), au maintien de l'équerrage des châssis mobiles.
D'autres cales périphériques, dites **cales de sécurité (C3)**, évitent un contact éventuel entre vitrage et fond de feuillure lors des manœuvres.
- **Cales latérales** : elles assurent une épaisseur régulière aux mastics servants d'étanchéité et reportent sur le châssis les sollicitations perpendiculaires au plan du vitrage.

Ces cales ne sont pas nécessaires dans le cas de profilés élastomères ou suivant le DTU 39, lorsque que la pression exercée sur les garnitures d'étanchéité ne dépassent pas un certains seuil décrit dans cette norme.

8-2- Nature des cales :

On utilise généralement des cales en bois dur traitées ou en élastomères. Les cales en polystyrènes sont à proscrire pour le montage des vitrages isolants.

8-3- Dimensions des cales :

Largeur	Telle que la totalité de l'épaisseur du vitrage repose sur ces cales. En pratique au moins égale à l'épaisseur du vitrage augmentée d'un jeu latéral.	Telle que la totalité de l'épaisseur du vitrage repose sur ces cales.	Telle que la cale n'engendre pas de discontinuité dans l'étanchéité du joint.
Longueur (mm)	<ul style="list-style-type: none"> • en bois : $l = 10 \times S^*$ • en caoutchouc : $l = 30 \times S^*$ • en matériaux de synthèse : selon la résistance à la compression pour des températures comprises entre -20 °C et $+55\text{ °C}$ mais au moins égale à 50 mm. 	Au moins égale à 50 mm.	Au moins égale à 50 mm.
Épaisseur	Au moins égale au jeu minimal.	Au moins égale au jeu minimal.	Légèrement inférieure au jeu latéral.

* Surface du vitrage en m²

8-4- Emplacement des cales :

