

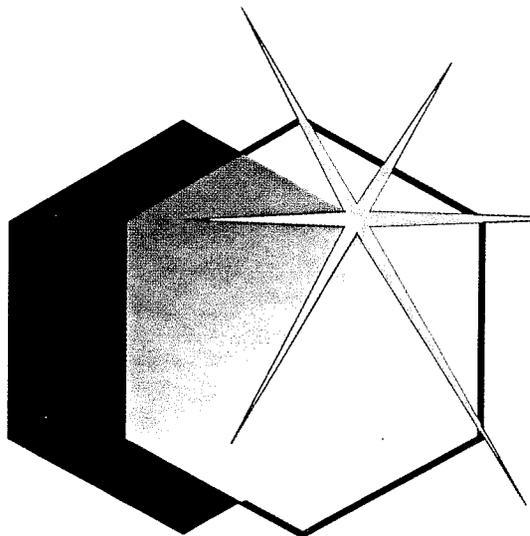
FÉDÉRATION FRANÇAISE DES PROFESSIONNELS DU VERRE

10 rue du Débarcadère

75852 Paris cedex 17

Tél.: 40 55 13 55

Fax.: 45 72 31 64



LE SAVOIR VERRE

REGLES PROFESSIONNELLES VERRE BOMBE

SEPTEMBRE 1994

Document établi au sein de la commission "VERRE BOMBÉ" de la
Fédération Française des Professionnels du Verre,
avec le concours de :

MM. DICHAMP Jacques : Président de la commission
BERTHIER
DESSERME Patrick
GOBBA Jean-Paul
GOUDE
GRELL Philippe
JACQUET Bruno
LEGONIDEC
LOBEY Florence
MAS Gérard
NIDA Claude
CORDIER
TORET J.L.

SOMMAIRE

1	GÉNÉRALITÉS	3
2	DÉFINITIONS	3
3	TERMINOLOGIE	3
4	CARACTÉRISTIQUES DIMENSIONNELLES	4
5	TOLÉRANCES	6
6	ASPECT	10
7	DIMENSIONNEMENT	13
8	MISE EN ŒUVRE	15
9	ANNEXES	17

1 GÉNÉRALITÉS

1.1 Objet et domaine d'application

Le présent document fixe les spécifications applicables à tous les verres bombés à partir de verres fournis en formes et dimensions finales d'utilisation et destinés au vitrage de bâtiment.

2 DÉFINITIONS

Verre bombé : Feuille de verre recuit courbée mise en forme par un procédé de chauffage.

Verre bombé trempé* : Feuille de verre courbée mise en forme par un procédé de chauffage. La trempe thermique du verre bombé est obtenue en chauffant le verre à une température supérieure à une température spécifique puis en créant par un refroidissement rapide et contrôlé, un ensemble de tensions permanentes dans le verre lui donnant une résistance largement accrue aux contraintes mécaniques ou thermiques.

Verre bombé feuilleté : Assemblage de feuilles de verre bombées recuites ou trempées assemblées par intercalaires sous forme de film ou de résines coulées.

Double vitrage bombé : se reporter au cahier des charges CEKAL.

Ces produits doivent satisfaire aux conditions définies par les textes spécifiques et faire l'objet des essais correspondants.

* Note : Ces produits seront traités ultérieurement

3 TERMINOLOGIE

OUTILLAGE	: Éléments spécifiques à une commande permettant la fabrication du verre bombé.
PLAN	: Document définissant la géométrie du produit à réaliser.
TRACÉ	: Représentation à l'échelle 1 du profil de courbure.
GABARIT	: Reproduction en 3 dimensions à l'échelle 1 permettant de déterminer les dimensions et la forme du produit à réaliser.
GABARIT DE DECOUPE	: Élément permettant la découpe du produit verrier avant bombage
MODELE	: Produit verrier (ou non) à l'échelle 1 permettant une reproduction à l'identique.
PROFIL DE COURBURE	: Forme géométrique du bombage.
CONCAVE	: Partie "creuse" du verre bombé.
CONVEXE	: Partie "bosse" du verre bombé.
CALIBRE	: Étalon de mesure permettant la fabrication et le contrôle du profil de courbure du produit fini.

4 CARACTÉRISTIQUES DIMENSIONNELLES

- ÉPAISSEUR (e) : Épaisseur nominale du produit fini.
- LONGUEUR (L) : Dimension du côté rectiligne du verre bombé.
- DÉVELOPPÉ (D) : Dimension totale du côté courbe incluant éventuellement la ou les parties droites.
- CORDE DU DÉVELOPPÉ (Cd) : Droite qui joint les deux extrémités d'une courbe.
- PROFONDEUR (Pr) : Distance la plus grande entre la partie supérieure du développé et la corde qui le sous-tend.
- ARC (A) : Dimension de la partie courbe définie par un rayon.
- RAYON (R) : Rayon du cercle auquel appartient l'arc.
- FLÊCHE (F) : Perpendiculaire abaissée du milieu d'un arc de cercle.
- CORDE DE L'ARC (Ca) : Droite qui joint les deux extrémités d'un arc de cercle.
- ANGLE (α) : Angle au centre qui détermine l'arc.
- PLAT (B) : Dimension de la partie plane accolée à l'arc.
- DÉCALAGE (d) : Le décalage est un glissement "d" de l'un des bords du verre pendant la fabrication du verre bombé feuilleté (cf fig. 6)

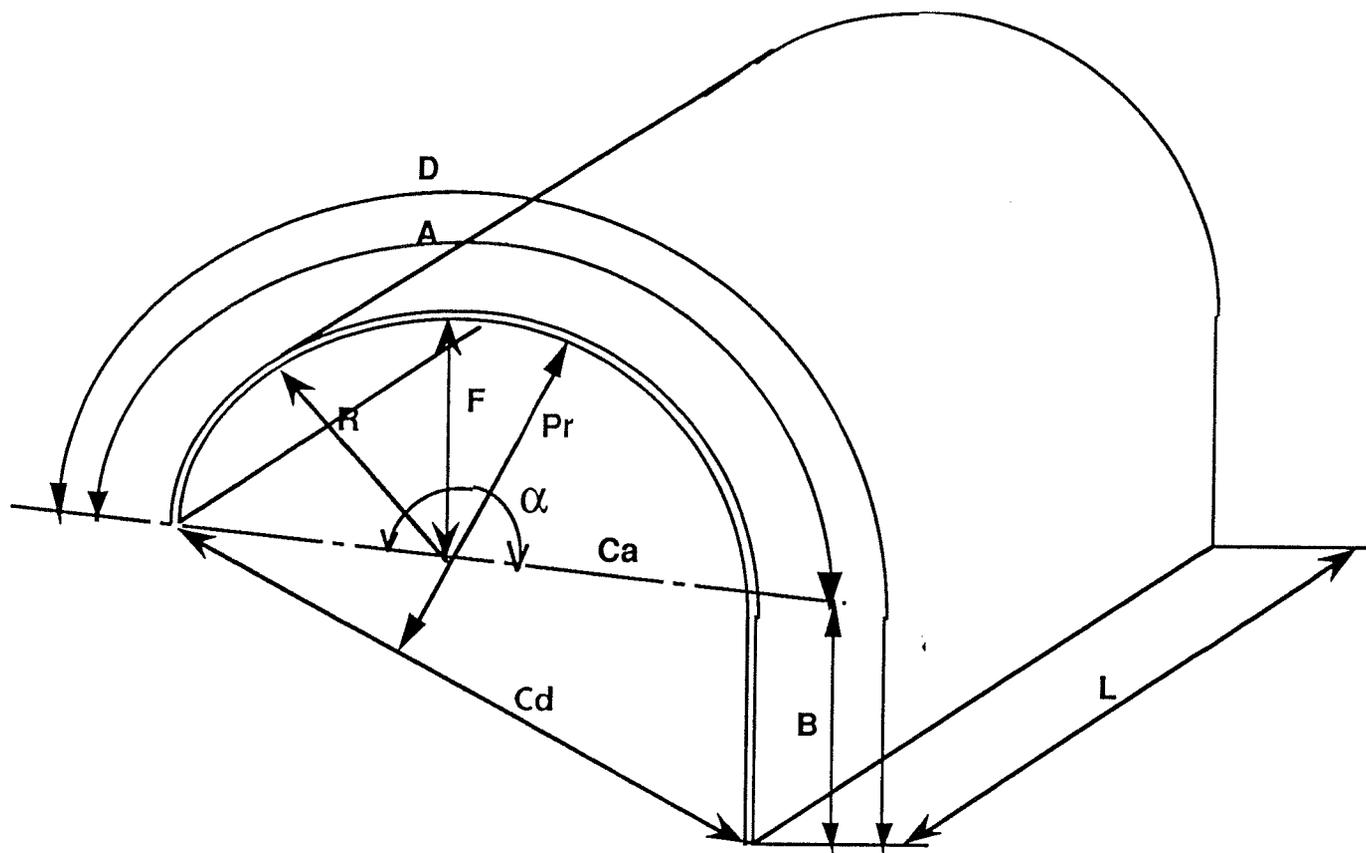


Figure 1: Caractéristiques dimensionnelles

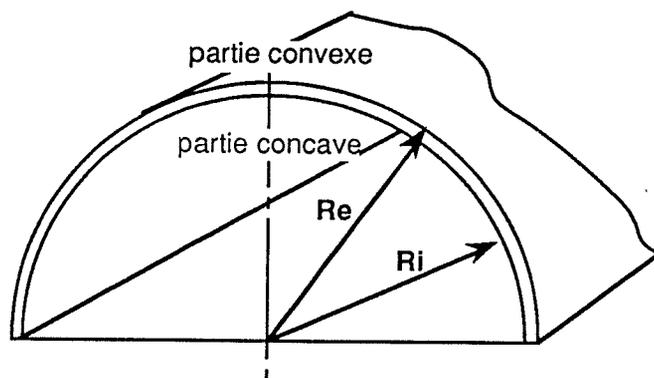


Figure 2 : Caractéristiques dimensionnelles intérieures et extérieures

Les cotes extérieures sont celles du côté concave du verre bombé,
Les cotes intérieures sont celles du côté convexe du verre bombé.

Rayons, Arc, Développé et flèche : ces caractéristiques dimensionnelles doivent être exprimées "extérieur" ou "intérieur" du produit verrier fini.

5 TOLÉRANCES SUR PRODUIT FINI

Les dimensions nominales étant données pour un verre bombé, celui-ci doit être tel que ses dimensions et sa forme puissent prendre en compte les tolérances suivantes :

- ΔPC : tolérance sur profil de courbure
- ΔD : tolérance sur développé
- ΔL : tolérance sur la longueur
- ΔRB : tolérance sur la rectitude des bords
- ΔV : tolérance sur le voile

Ces tolérances ne sont applicables que sur le périmètre du verre et sur une largeur de 5 cm.

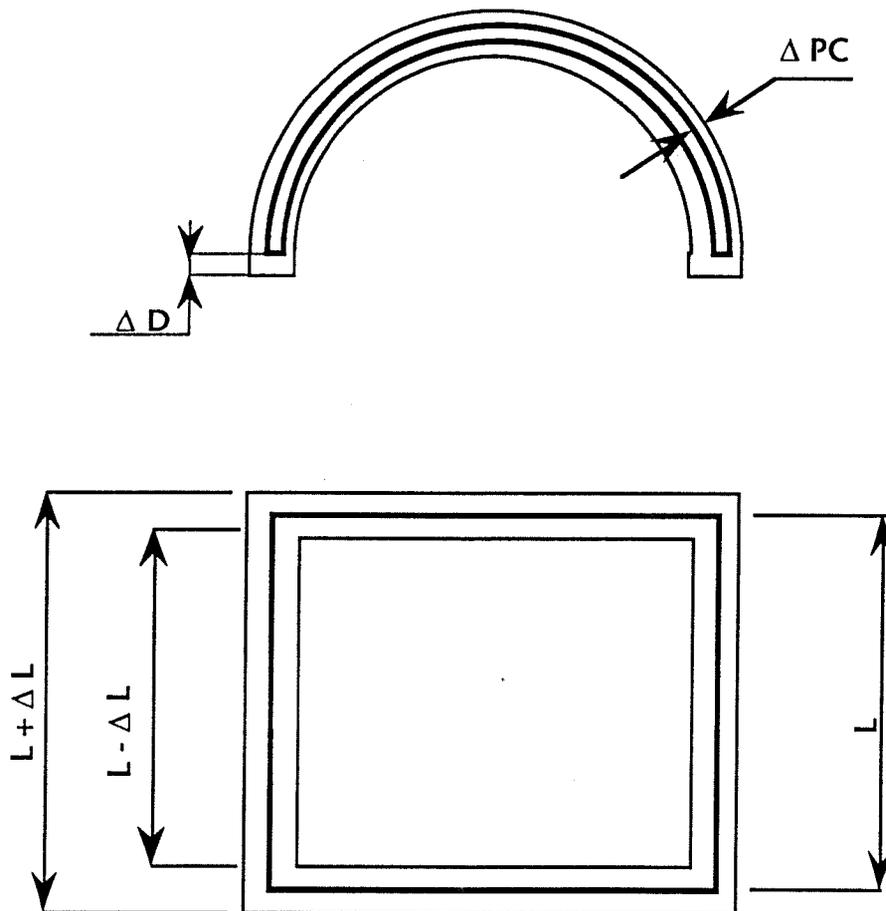


Figure 3 : Tolérances sur verre bombé

5.1 Tolérances sur le profil de courbure, le développé et la longueur.

Les tolérances maximales admissibles sur le profil de courbure, le développé et la longueur sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Tolérances maximales admissibles sur $\Delta PC - \Delta D - \Delta L$.

épaisseur :	< 10 mm	≥ 10 mm
ΔPC *	$\pm 1/2 \times e$	
ΔD	± 2 mm/m	$\pm 2,5$ mm/m
ΔL	± 2 mm/m	$\pm 2,5$ mm/m

* mesuré perpendiculairement au verre.

5.2 Tolérance sur la rectitude des bords (ΔRB)

Pour les verres bombés destinés à être collés bords à bords, le défaut de rectitude n'est acceptable que dans un sens.

Cette spécificité est à définir lors de la commande.

- pour $L \leq 1$ m : $\Delta RB \leq 2$ mm
- pour $L > 1$ m : $\Delta RB \leq 2$ mm/m.

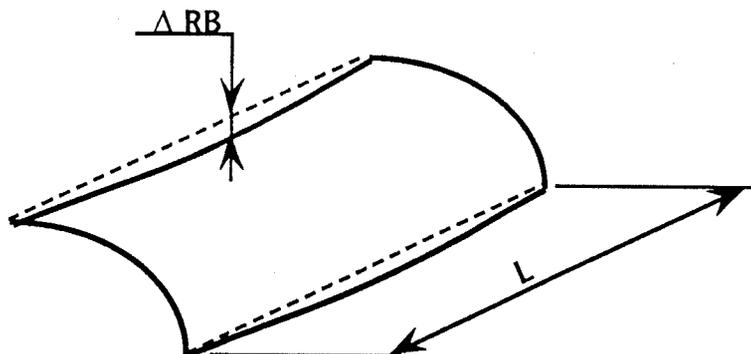
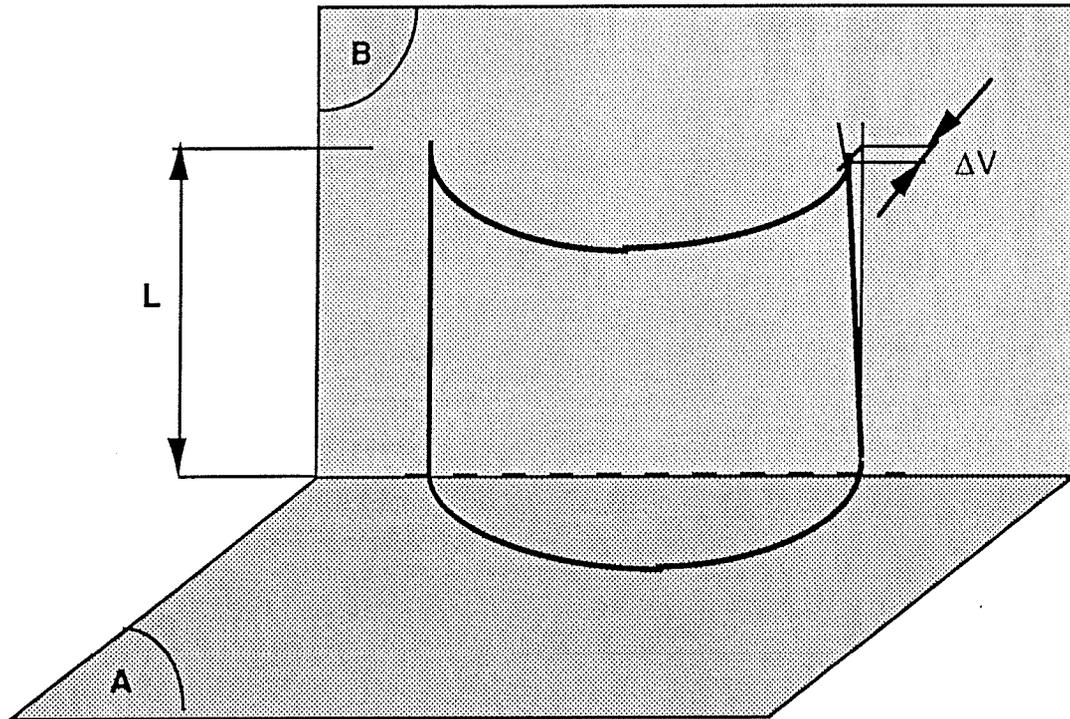


Figure 4 : Tolérance sur la rectitude des bords

5.3 Tolérance sur le voile (ΔV)

Le voile sera mesuré sur la verticale du verre bombé, celui-ci étant posé sans contrainte sur son profil de courbure (cf fig. 5).

Les tolérances maximales admissibles sont données dans le tableau 2



Note : Les plans A et B sont perpendiculaires

Figure 5 : Mesure de la tolérance sur le voile (ΔV)

Tableau 2 : Tolérances maximales admissibles sur le voile (ΔV) pour $e \leq 12 \text{ mm}^*$

LONGUEUR	VOILE
$L \leq 700$	$V < 3$
$700 < L \leq 1000$	$V < 4$
$1000 < L \leq 1500$	$V < 5$
$1500 < L \leq 2000$	$V < 6$
$2000 < L$	$V < 8$

dimensions en mm

* pour $e \geq 15 \text{ mm}$ consulter le fabricant

5.4 Caractéristiques dimensionnelles du verre bombé feuilleté

5.4.1 Épaisseur

L'épaisseur nominale totale d'un verre feuilleté est égale à la somme des épaisseurs nominales des constituants ; la tolérance sur cette épaisseur totale est prise égale à la somme des tolérances sur les épaisseurs desdits constituants.

5.4.2 Décalage

Le décalage est un glissement "d" de l'un des bords du verre pendant la fabrication du verre bombé feuilleté (cf fig. 6)

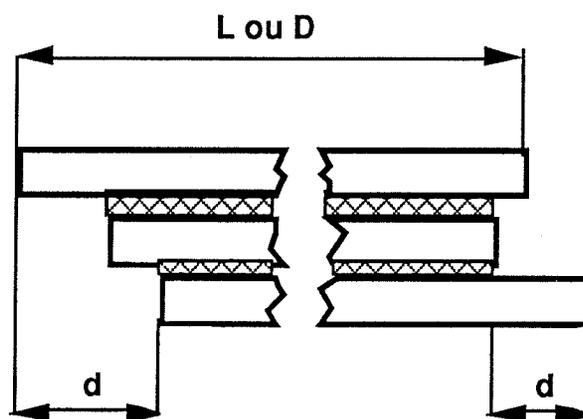


Figure 6 : Décalage "d"

Les valeurs maximales de décalage "d" sont données dans le tableau 3.

Tableau 3 : Décalage maximal admissible

L ou D	Décalage maximal
$L \text{ ou } D \leq 1000$	$d \leq 2 \text{ mm}$
$L \text{ ou } D > 1000$	$d \leq 2 \text{ mm/m}$

6 ASPECT

Les défauts d'aspect sont :

- soit propres au verre,
- soit propres au procédé de bombage,
- soit propres à l'intercalaire (dans le cas de verre bombé feuilleté).

6.1 Spécifications

6.1.1 Défauts propres au verre

Les critères d'acceptation des verres étirés bombés et des glaces bombés sont respectivement ceux fixés par les normes :

- NF P 78-301" Verre étiré pour vitrage de bâtiment - Qualité - Choix -"
- NF P 78-302" Glace pour vitrage de bâtiment ".

6.1.2 Défauts spécifiques au procédé de bombage

Des défauts non mesurables de type "peau d'orange" ou mesurables de type "piqûres" dus au procédé de bombage peuvent apparaître. Dans tous les cas, ces défauts ne sont pas visibles par l'observateur conformément à la méthode d'examen décrite en 6.2.

Ces défauts sont définis dans la norme NF B 32 - 003 et sont définis ci-après :

- Peau d'orange

Défaut de surface ayant par réflexion l'aspect d'une peau d'orange.

- Piquûres

Minuscules cavités disséminées en surface, avec ou sans particule étrangères.

Pendant le procédé de bombage, la température de transformation est celle de la température de ramollissement du verre; par conséquent, des distorsions optiques du à la constitution du moule ainsi qu'au rayon de courbure peuvent être visibles surtout en réflexion. Ces défauts sont inhérents au procédé de bombage du verre.

6.1.3 Défauts spécifiques à l'intercalaire.

Faux-plis et rayures

Ils ne sont pas autorisés dans la partie visible du verre.

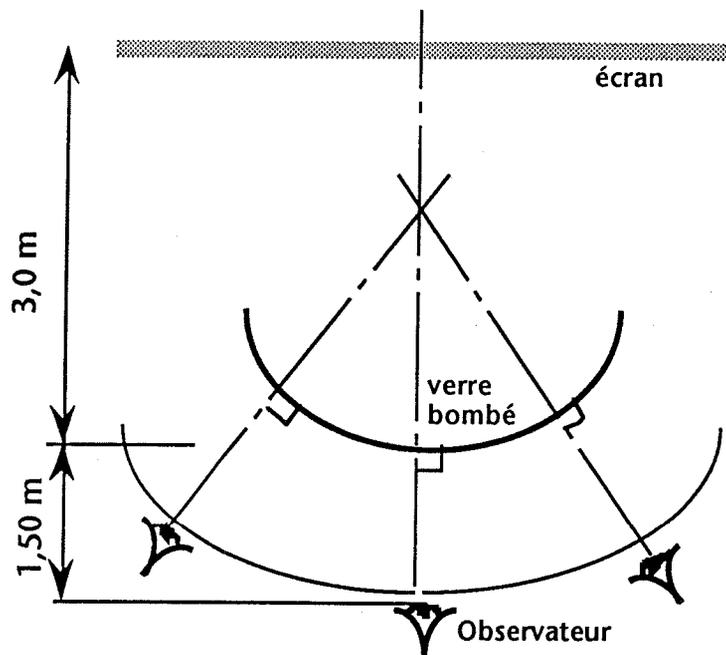
Bullage - Rétrécissement - Autres,

Ces défauts sont admis sur le bord du verre sur une distance égale à :

- 10 mm pour un bi-feuilleté
- 20 mm our un tri-feuilleté.

6.2 Méthode d'examen

On dispose d'un écran vertical gris mat dont la luminance est de 500 cd/m^2 situé à une distance de 3 m derrière le verre bombé à examiner. Le verre est placé verticalement sur l'un de ses côtés. L'observateur situé à 1,5 m du verre examine la surface totale du verre en regardant perpendiculairement le volume par zones successives de $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ situées à hauteur de son oeil.



Note : L'observateur se déplace parallèlement au verre bombé feuilleté à 1,50 mètre.

Figure 7 : Méthode d'examen

L'acceptabilité de ces défauts dépend des critères suivants :

- La dimension des défauts,
- la répartition des défauts,
- La dimension du panneau,
- Le nombre de feuilles de verre composants le verre bombé feuilleté.

Ceci est exprimé dans le tableau 4 :

Tableau 4 : Défauts admissibles de l'intercalaire dans un verre bombé feuilleté

Dimensions des défauts en mm		0,5 < - ≤ 1,0	1,0 < - ≤ 3,0			
Dimensions du panneau en m2		toutes dimensions	≤ 1,0	1 < - ≤ 2,0	2 < - ≤ 8,0 par m2	> 8,0 par m2
Nombre de défauts acceptables	2 feuilles	pas de limitation, toutefois, pas de concentration des défauts *	1	2	1	1,2
	3 feuilles		2	3	1,5	1,8
* Il y a concentration de défauts si quatre défauts ou plus sont à une distance inférieure à 200 mm les uns des autres. Cette distance est réduite à 180 mm pour les verres feuilletés comprenant trois composants.						

Note : l'acceptabilité des défauts ponctuels dans un verre feuilleté est indépendante de l'épaisseur de chaque verre.

Les défauts de moins de 0,5 mm ne seront pas pris en compte.

Les défauts plus grands que 3 mm ne sont pas admis.

7 DIMENSIONNEMENT DES VERRES BOMBES EN FAÇADE

7.1. Épaisseur des vitrages bombés en fonction des contraintes mécaniques.

La détermination de l'épaisseur d'un verre bombé dépend :

- des charges climatiques extérieures et principalement de la pression du vent.
- des caractéristiques du verre, de ses dimensions, de son profil de courbure et de la façon dont il est mis en œuvre,
- de sa destination.

Le calcul de l'épaisseur sera conforme au DTU 39 avec les spécificités suivantes :

1/ Si $F/C \leq 0,02$: Le verre bombé se calculera comme un verre plat , et les règles de calcul du DTU 39 s'appliquent en totalité.

2/ Si $F/C > 0,02$: Le verre bombé se calculera comme un verre pris en feuillure sur 2 cotés avec comme formule de calcul :

$$e = \frac{L\sqrt{P}}{4,9}$$

Dans le cas d'un verre bombé comportant des parties plates, prendre comme référence : P_r/C_d au lieu de F/C (cf figure 1).

avec :

- e : épaisseur en verre recuit en mm
- L: Longueur du verre bombé en m
- P : pression suivant DTU 39 en Pascal.

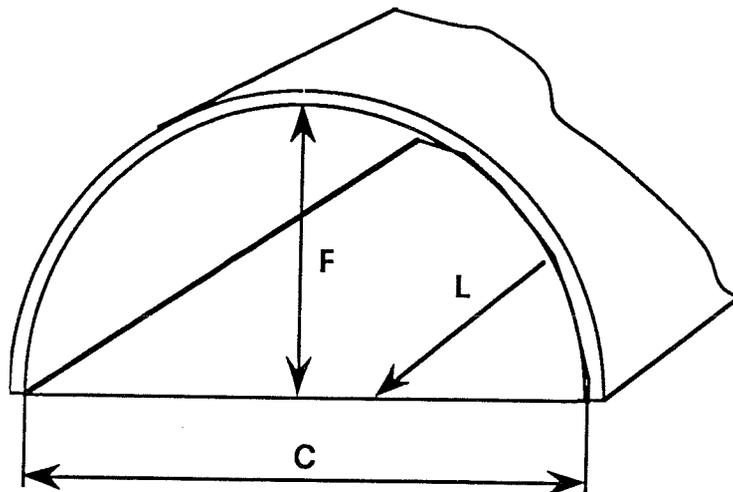


Figure 8 : Flèche, Corde et Longueur d'un verre bombé

CAS PARTICULIERS

- Coefficient de réduction

Dans le cas où $F/C > 0,02$

Si le verre bombé est collé sur toute la longueur "L" et pris en feuillure, un coefficient de réduction de 0,8 peut être affecté sur l'épaisseur du verre suivant les conditions suivantes :

- le verre bombé est posé à moins de 6 mètres du sol,
- le collage est réalisé avec un silicone haut module de type collage de structure VEC avec pour section minimum 6 mm x 6 mm (cf. figure 9).

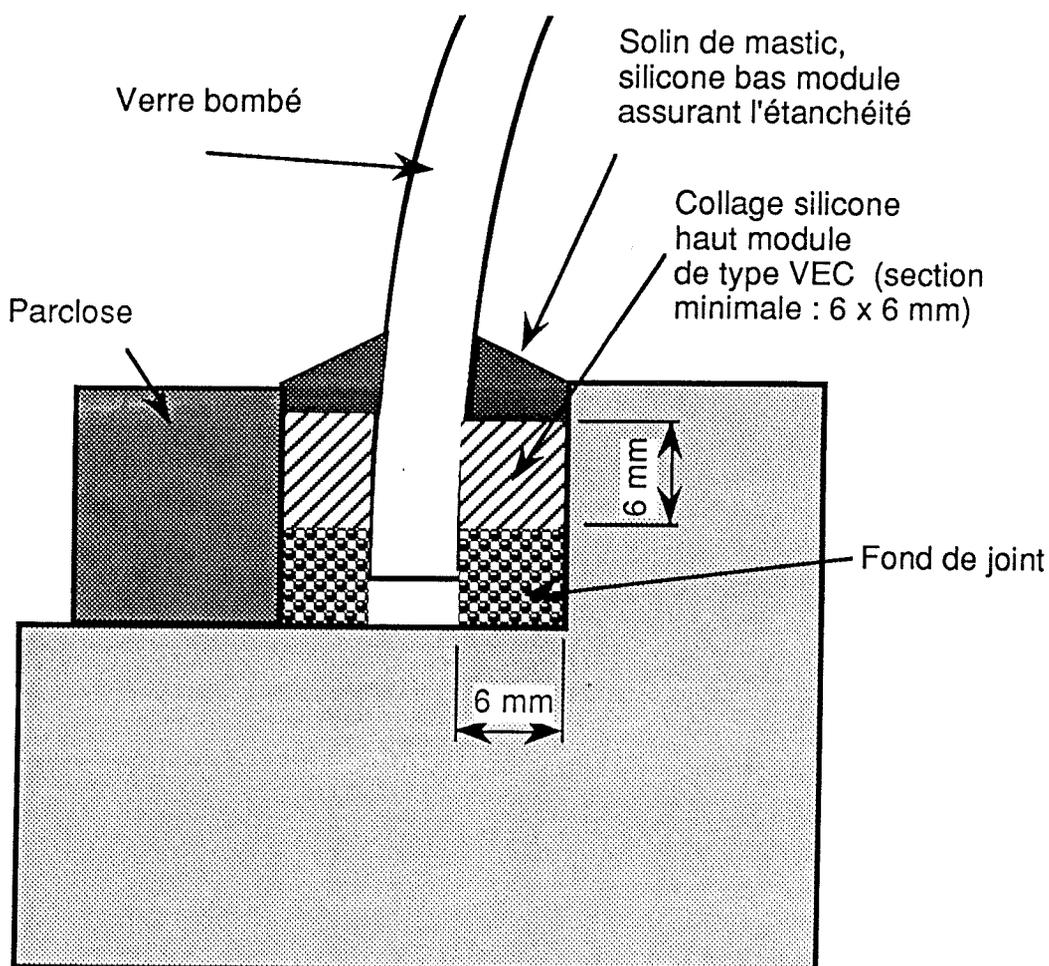


Figure 9 : collage du verre bombé sur toute sa longueur

- Pose en toiture

Une étude particulière est à faire cas par cas.

8 MISE EN ŒUVRE

La mise en œuvre devra être conforme au DTU 39 avec les spécifications suivantes :

8.1 Feuillures

La feuillure recevant le verre bombé sera conçue afin d'admettre les déformations dus au bombage et éviter tout contact verre/châssis ou verre/verre.

La largeur des feuillures tiendra compte des tolérances du verre bombé définis dans ce document en page 4.

Les hauteurs de feuillures seront conformes au DTU 39 Chapitre 4 : Prescriptions communes de mise en place des vitrages.

8.2 Étanchéité

La garniture d'étanchéité sera réalisée afin d'absorber les tolérances dimensionnelles générales et locales.

Les joints de types caoutchouc ou néoprène sont exclus .

On utilisera les joints souples de type obturateur élastique sur fond de joint.

8.3 Mise en place

Dans tous les cas, le verre bombé ne doit pas être bridé.

Dans le cas de verres bombés avec un angle $\alpha \geq 90^\circ$, il est conseillé de positionner la parclose du côté convexe afin de faciliter la pose ou la dépose du vitrage.

La parclose sera fixée de manière à assurer de façon suffisante la bonne tenue du verre bombé face aux efforts du vent en pression ou en dépression.

8.4 Calage

En ce qui concerne le calage d'assise, dans le cas où $F/C \geq 0,02$, celui-ci sera réalisé à l'aide de 2 cales comme indiqué dans le paragraphe 4,33 du DTU 39 avec une cale supplémentaire située au centre du développé du verre afin d'éviter le devers de celui-ci.

En ce qui concerne le calage périphérique et latéral, les instructions du DTU 39 seront suivies.

Si $F/C \leq 0,02$: calage suivant les règles du DTU 39

Si $F/C > 0,02$: calage suivant spécifications ci-dessous (cf fig 10)

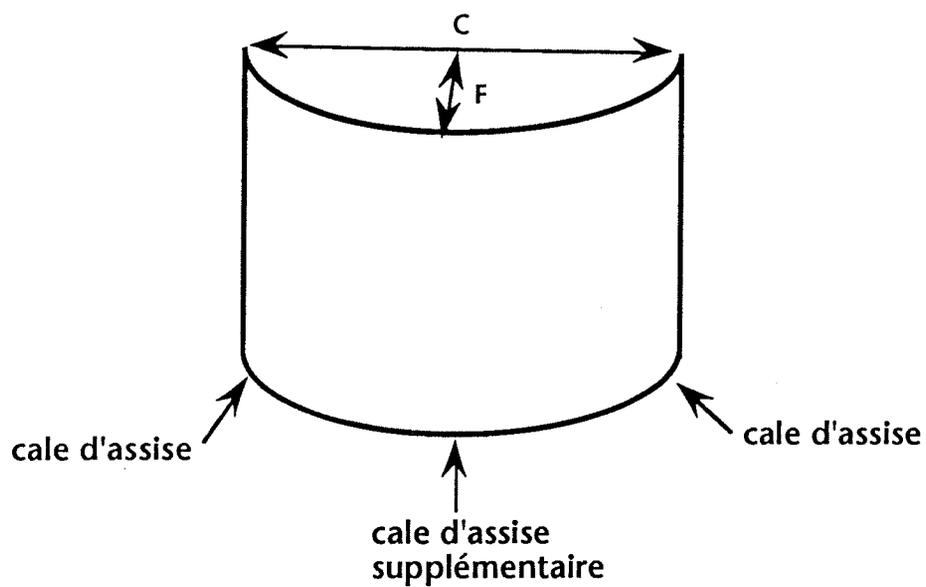
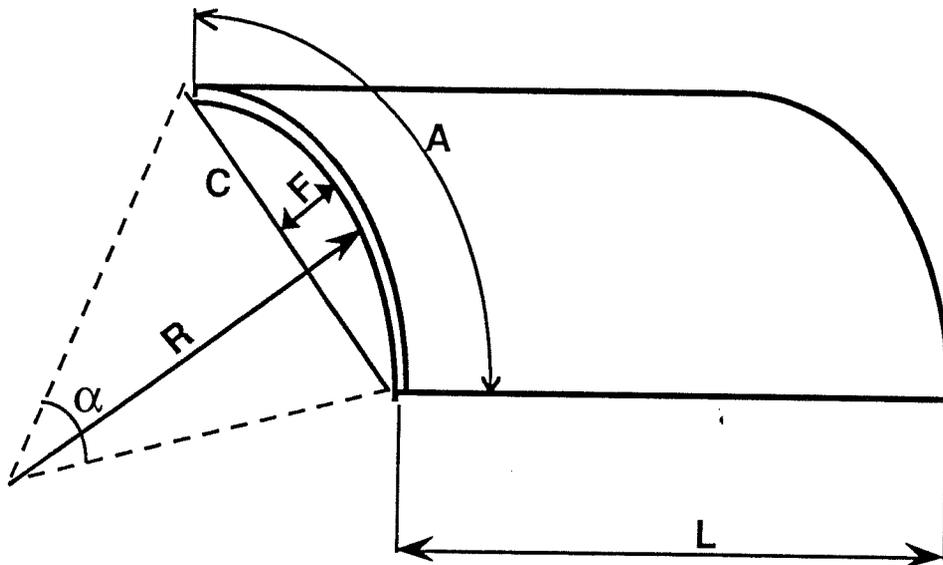


Figure 10 : Calage du verre bombé

9 ANNEXES TECHNIQUES



$$C = 2\sqrt{F(2R-F)}$$

$$R = \frac{C^2 + 4F^2}{8F}$$

$$F = R - \frac{1}{2}\sqrt{4R^2 - C^2}$$

$$A = 0,01745 R \alpha$$

$$\alpha = 57,296 A/R$$

- L : LONGUEUR en mm
 A : ARC EXTERIEUR en degrés
 F : FLECHE, PROFONDEUR en mm
 C : CORDE en mm
 R : RAYON en mm
 α : ANGLE en degrés