

INFORMATION SUR LE PRODUIT PI 036

Tolérances verres bombés

Fabrication et géométrie

En général, on utilise le principe du cintrage par gravité. À cet effet, la feuille de verre float plat est posée sur un moule de cintrage et chauffée dans un four de cintrage à une température de 550 à 620 °C. Après avoir atteint la plage de ramollissement, la feuille fléchit par gravité dans le moule de cintrage ou épouse la forme du moule de cintrage dans le cas d'un moule convexe. La phase de refroidissement ultérieure détermine les caractéristiques du produit final.

La faisabilité de la géométrie de cintrage avec la structure de verre choisie – éventuellement avec revêtement – dépend par conséquent également du type de production, raison pour laquelle il n'est possible de donner des informations de base générales sur les rayons de courbure et les structures de verre que de manière limitée. De manière générale, il est cependant possible d'affirmer que les géométries complexes telles que les cintrages sphériques ne sont réalisables qu'en tant que verre float.

Produits de construction

Généralités

Les différents produits bombés sont répertoriés ci-après selon les normes européennes en vigueur pour les verres plats. En complément, les différences ou les spécificités des verres bombés sont également présentées. Le produit de départ pour le verre bombé float est décrit dans la norme EN 572-2. En outre, d'autres produits de base en verre selon la norme EN 572, par exemple le verre d'ornement, le verre armé, le verre armé miroir ou le verre profilé sont réalisables en qualité de produits bombés.

Verre bombé trempé de sécurité

La norme produits EN 12150-1 ne décrit que de l'ESG (verre trempé de sécurité) plan. Toutefois, la partie informative de cette norme (annexe B) apporte la précision suivante:

Cela ne fait pas partie intégrante de cette norme, car il n'existe pas suffisamment de données sur la normalisation. Indépendamment de ceci, les informations de cette norme concernant les épaisseurs, le façonnage des bords et la structure de fragmentation peuvent également être appliquées sur du verre trempé de sécurité bombé sodo-calcique précontraint thermiquement.

Verre bombé partiellement précontraint (TVG)

La norme produits EN 1863-1 ne décrit que le TVG (verre partiellement précontraint) plan. Toutefois, la partie informative de cette norme (annexe B) apporte la précision suivante:

Cela ne fait pas partie intégrante de cette norme, car il n'existe pas suffisamment de données sur la normalisation. Indépendamment de ceci, les informations de cette norme concernant les épaisseurs, le façonnage des bords et la structure de fragmentation peuvent également être appliquées sur du verre bombé sodo-calcique partiellement précontraint. Il convient de noter que c'est surtout le schéma de rupture du verre TVG plan qui n'est pas exactement transposable au verre TVG bombé.

Verre feuilleté de sécurité bombé ou verre feuilleté de sécurité

La norme produits EN 14449 ne décrit que du VG et du VSG plan.

Le VSG est un produit comportant des films intermédiaires en polyvinylbutral (PVB) ou composé d'autres couches intermédiaires dont l'employabilité a été démontrée.

Le VG par contre est un produit de construction comportant d'autres couches intermédiaires dont l'employabilité n'a pas été démontrée.

Vitrage isolant multicouche bombé

La norme produits EN 1279 ne doit être appliquée que de manière limitée pour le vitrage isolant multicouche bombe. Dans la partie 1 de la norme EN 1279, le paragraphe stipule :

«Les unités présentant un rayon de courbure >1000 mm sont compatibles avec cette norme sans avoir à subir les contrôles supplémentaires pour les échantillons bombés.

Les unités présentant un rayon de courbure de 1000 mm ou moins sont compatibles avec cette norme, si les échantillons bombés présentant un rayon de courbure identique ou inférieur sont conformes aux exigences de diffusion de vapeur d'eau définies dans la norme EN 1279-2. L'axe de cintrage des échantillons doit être parallèle au côté le plus long.»

De manière générale, le triple vitrage isolant peut également être exécuté en qualité de vitrage bombe. Il convient cependant de nous consulter en ce qui concerne la faisabilité (dimensions, structure de verre, type de verre, caractéristiques techniques, etc.) et les tolérances.

Conceptions en verre bombé

De manière générale, la conception d'éléments en verre bombé avec par exemple des émaillages, sérigraphies, impressions numériques, films imprimés, du sablage, de la fusion ou des revêtements partiels sont possibles.

Physique du bâtiment

Isolation thermique et protection solaire

Les exigences citées doivent être satisfaites par les vitrages en verre bombé et plat. On utilise ici des revêtements d'isolation thermique et de protection solaire. Outre les exigences fonctionnelles, les exigences esthétiques sont également importantes, notamment pour les revêtements de protection solaire (par ex. réflexion du verre revêtu, coloration consécutive au revêtement ou substrat du verre).

Pour la détermination des caractéristiques optiques, il convient, notamment pour les objets de grande taille de travailler dès le départ avec des échantillons en dimensions réelles afin de pouvoir adapter la qualité optique attendue.

Les possibilités de revêtement existantes en fonction de la géométrie, de la structure du verre, des dimensions, etc. doivent être étudiées au cas par cas. Une désignation générale des coefficients U_g , g , etc. réalisables est impossible ici en raison de la variété des paramètres précités. La spécification des coefficients U_g ainsi que des caractéristiques lumineuses et solaires des vitrages s'effectue en général pour des verres plats de même structure. La détermination s'effectue conformément à EN 673 et EN 410.

Isolation acoustique

La transposition au vitrage bombé n'est possible que de manière limitée, car la surface rayonnante est plus importante que celle des vitres planes de dimensions comparables. Il est recommandé de faire procéder à un essai par un institut approprié.

Qualité visuelle

La «directive d'appréciation de la qualité visuelle du verre dans la construction» est applicable de manière générale. Outre les erreurs admissibles citées dans la directive, des inclusions, des erreurs de revêtement et des marques superficielles sont admissibles sur le verre bombé.

L'examen s'effectue à la lumière du jour diffuse (par ex. un ciel couvert) sans incidence directe du rayonnement solaire et sans éclairage artificiel, à une distance de 3 m, avec un angle d'observation correspondant à l'usage général de la pièce.

La vision et l'impression de couleur sont influencées par le cintrage du verre, parce que la réflexion des verres bombés est différente de celle des verres plats en raison des lois optiques. Le comportement en réflexion est influencé par les critères suivants :

- La réflexion intrinsèque du verre de base
- Revêtements
- Rayon de courbure
- Angles de cintrage importants (par ex. supérieurs à 90°)
- Transitions tangentielles
- Epaisseur de verre

Il est recommandé de faire procéder à la réalisation de vitres échantillons afin d'obtenir une première impression de la qualité optique et de l'effet visuel.

Pour les dimensions plus importantes, il convient de contacter le fabricant. Les tolérances spécifiées doivent être appliquées à tous les façonnages des bords. La qualité du façonnage des bords est au minimum arêtes abattues. Tous les autres façonnages des bords doivent faire l'objet d'une convention écrite avant la passation de commande.

Tolérances

Les tolérances énumérées ci-dessous sont valables pour le verre bombé cylindrique. Les tolérances du tableau 1 sont définies pour une longueur de côté maximale de 4000 mm et un angle de flexion maximal de 90°. Toutes les tolérances spécifiées se rapportent aux bords du verre.

Tableau 1: Tolérances

	Epaisseur de verre (T)	Verre Float	ESG	VG/VSG*	Double vitrage isolant	
Développement (A) / Hauteur (L) ≤ 2000 mm	≤ 12 mm	+/-2	+/-2	+/-2	+/-2	mm
Développement (A) / Hauteur (L) ≤ 2000 mm	> 12 mm	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	mm
Développement (A) / Hauteur (L) ≤ 2000 mm	< 12 mm	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	mm
Développement (A) / Hauteur (L) ≤ 2000 mm	> 12 mm	+/-4	+/-4	+/-4	+/-4	mm
Fidélité des contours (PC)**		+/- 3 mm/m Valeur absolue: min. 2 mm, max. 4 mm		+/- 3 mm/m Valeur absolue: min. 2 mm, max. 5 mm		
Rectitude du bord haut (RB)	≤ 12 mm	+/-2	+/-2	+/-2	+/-2	mm je lfm.
Rectitude du bord haut (RB)	> 12 mm	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	mm je lfm.
Torsion (V) ***	-	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	mm je lfm.
Désalignement (d)**** ≤ 5 m²	-	-	-	+/-2	+/-3	mm
Désalignement (d)**** > 5 m²	-	-	-	+/-3	+/-4	mm
Position du perçage	-	-	EN 12150	EN 12150	-	mm
Tolérance d'épaisseur du verre	-	EN 572	EN 572	-	-	mm

* Pour le VG/ VSG, l'épaisseur du verre est égale à la somme des épaisseurs individuelles sans intercalaire. Les tolérances sont valables pour le VG/VSGT en verre float, ESG ou TVG.

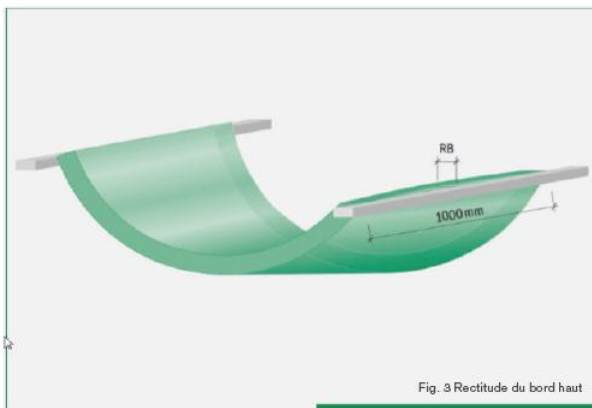
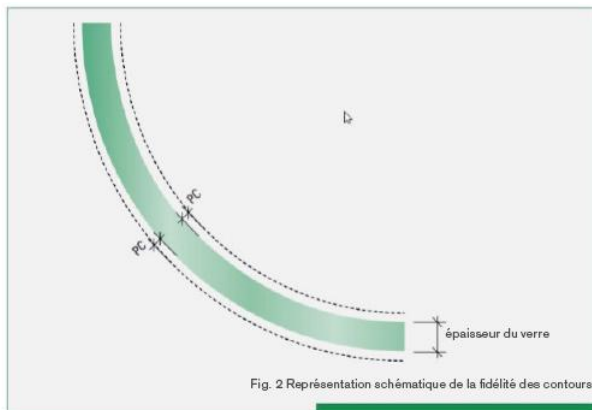
** Avec le verre bombé, il convient de toujours prévoir des transitions tangentielles, ainsi que des renflements du bord de développement.

*** par rapport au bord le plus long de l'unité de vitrage.

**** Par rapport au bord en hauteur et de développement, l'indication est valable pour tous les façonnages des bords, le désalignement des trous de perçage pour le VG et le VSG dépend de cette tolérance.

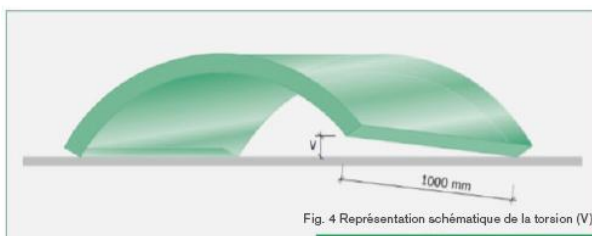
Fidélité des contours (PC)

La fidélité des contours désigne la précision d'un cintrage. Tous les bords du contour sont décalés de 3 mm vers l'intérieur/ extérieur. Le contour de cintrage ne doit pas différer d'une valeur supérieure à cette cote du contour théorique (v. fig. 2). Lors de l'examen de la fidélité des contours, il est possible d'utiliser une valeur moyenne au sein de ce contour théorique.



Torsion (V)

La torsion désigne la précision du parallélisme des bords en hauteur à l'état bombé. Pour le verre bombé, la torsion tolérée est de max. +/- 3 mm par m. (Bord droit) (v. fig. 4). À cet effet, le verre doit être posé avec les bords hauts sur une surface plane puis contrôlé (position convexe ou N)



Extensions droites

Une tangente est une droite qui entre en contact avec une courbe donnée à un point précis. La tangente est perpendiculaire au rayon correspondant.

Sans transition tangentielle, une vitre cintrée présente une inflexion ! Ceci est certes techniquement possible, mais pas recommandé. En effet, les tolérances au point d'inflexion sont supérieures à celles d'une transition tangentielle.

Dimensionnement

Règlements:

La norme de dimensionnement du verre DIN 18008 ne réglemente pas les constructions en verre bombé ou incurvé.

Spécificités statiques en comparaison avec les vitres en verre plat

Portance du verre bombé

Le calcul des tensions et des déformations dans les feuilles de verre bombé doit être réalisé à l'aide d'un modèle d'éléments finis adapté à la théorie des coques.

Un calcul simplifié des feuilles de verre bombé en qualité de feuilles de verre plat conduit inévitablement à des tensions et des déformations incorrectes.

Contraintes climatiques pour les verres isolants bombés

Sur les vitrages en verre isolant, il est impératif de prendre en compte la courbure du verre, étant donné que la rigidité en torsion supérieure peut donner lieu à des charges climatiques très élevées (charges internes).

L'avantage obtenu par la portance des vitres individuelles cintrées n'est pas aussi important pour l'exécution en qualité de vitrage isolant que dans l'utilisation en simple vitrage. Le dimensionnement des unités de vitrage isolant avec des éléments de jonction plats doit être étudié avec soin, car la partie plane est nettement moins rigide que la partie cintrée.

La contrainte du joint périphérique du vitrage isolant est plus importante en raison des charges climatiques supérieures du vitrage bombé en comparaison à celles d'un verre isolant plat. Le façonnage du joint périphérique doit être réalisé en conséquence. Ceci peut à son tour avoir un impact sur la largeur du joint ou la profondeur de montage nécessaire. Il convient de tenir compte de ces éléments lors de la planification et de la construction.

Pour une conception préliminaire, on peut utiliser les caractéristiques de résistance à la flexion-traction f_k selon le tableau.

Tableau 2: Résistances caractéristiques à la flexion-traction par approximation à (4)

Type de verre	f_k (N/mm ²)	
	Surface en verre	Bord du verre
Verre float bombé	40	32
Verre bombé partiellement précontraint	55	55
Verre bombé précontraint	105	105

Limites de flexion du vitrage

La flexion des vitrages bombés doit être limitée de manière à prévenir avec certitude tout glissement en dehors des supports du verre et à respecter les critères d'aptitude à l'emploi.

Limites de flexion de la sous-construction

Les directives applicables aux verres plats ne sont pas transposables au verre bombé, étant donné que de petites déformations de la sous-construction auraient des effets beaucoup plus importants sur des vitres cintrées que sur des vitres planes comparables. De ce fait, le comportement de la sous-construction doit impérativement être pris en compte lors de la conception statique.

Stockage et transport

Les unités de vitrage doivent être entreposées et transportées en fonction de leur géométrie en position verticale et sans tension. Il convient de respecter les directives du fabricant.

Les supports et les protections contre le renversement ne doivent pas endommager le joint périphérique du vitrage isolant ou du verre. Pour le transport du verre isolant en altitude ou à des altitudes importantes, l'utilisation d'une valve d'équilibrage de pression au sein de l'espace intercalaire peut s'avérer nécessaire en raison des différences de pression entre l'espace intercalaire et le climat environnant (dépend de l'altitude du lieu de fabrication). Ceci doit être spécifié à commande.

Vitrage

Généralités

Des directives de vitrages formulées pour les vitrages plats sont en principe applicables aux vitrages bombés. En raison du comportement spécifique du verre bombé, il convient de respecter les indications complémentaires des fabricants. La prise en feuillure des verres isolants bombés est de 12 – 15 mm.

Informations constructives

En raison de sa rigidité élevée, les tolérances du verre bombé doivent impérativement être prises en compte lors de la conception afin d'assurer un montage et un stockage exempt de contraintes. Le stockage sans contrainte est nécessaire afin d'éviter les bris de verre ou les sursollicitations du joint périphérique en cas d'utilisation de verre isolant multicouche. La sous-construction doit être conforme aux exigences spécifiques applicables aux vitrages bombés. À cet effet, des feuillures de dimensions suffisantes sont nécessaires pour les structures des châssis ou des façades.

Calage

Les principes de base du calage sont décrits dans la norme 01 du verre isolant. Le calage doit introduire la charge de l'unité de vitrage de manière sûre dans la sous-construction. Les unités de vitrages ne supportent en principe aucune charge de la construction. S'il convient de supporter des charges de construction, il est nécessaire d'en tenir compte lors de la planification statique constructive.

Dans tous les systèmes avec du verre bombé, il convient d'assurer la compensation périphérique de la pression de vapeur ainsi qu'un drainage permanent de la base de la feuillure.

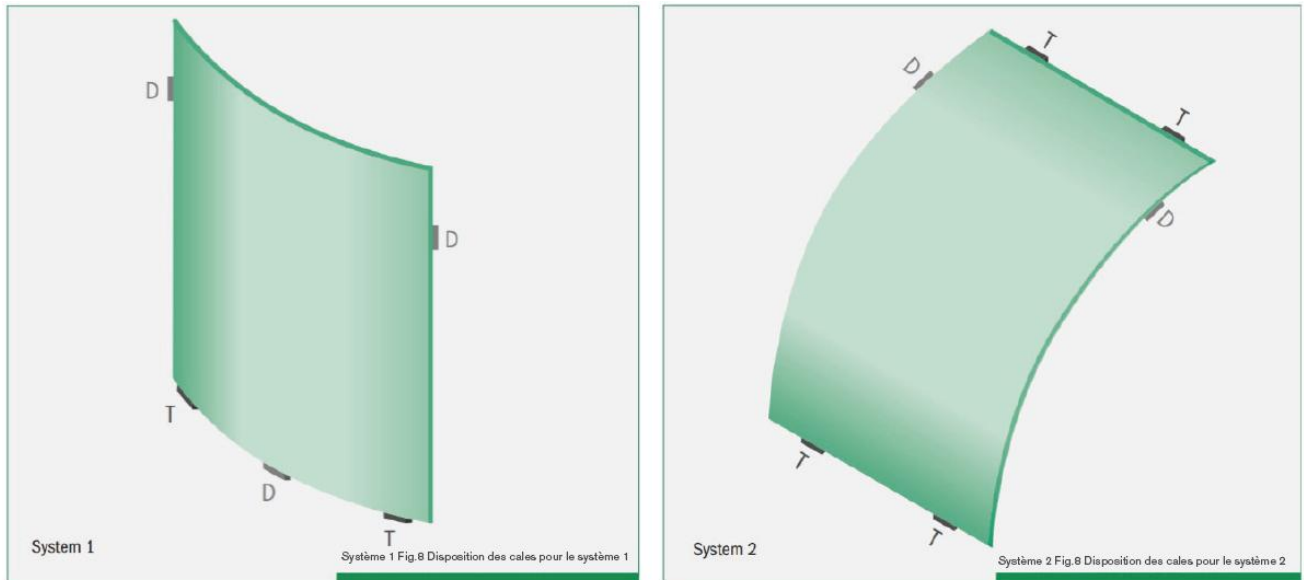
Le simple vitrage bombé ou les unités de vitrage isolant bombées en position verticale doivent être calés comme des vitres planes. Dans le système 1, le poids du verre sur l'arête inférieure cintrée est dévié via les cales-support à la structure du cadre puis à la structure de fixation.

Dans le système 2, le poids du verre et la charge du vent agissent de manière répartie sur le bord du verre.

Il convient de tenir compte de ceci lors du choix des supports. Les exécutions ne représentent qu'une sélection de situations possibles. Dans d'autres situations, comme les cintrages sphériques, les profils incorporés au joint périphérique du vitrage isolant ou dans une application du domaine de la construction en verre, il convient de contacter le fabricant.

Le calage support doit être exécuté de manière que le vitrage soit à l'équilibre et ne puisse pas basculer.

La distance par rapport à l'angle du verre devrait correspondre à la distance réglementaire de 100 mm.



Métré

Pour fabriquer le produit final souhaité, un métré très précis et la fourniture de diverses informations sur les dimensions, etc. sont très importants pour le verre bombé.

Pour verres incurvés cylindriques, il convient, indépendamment du type de verre projeté, de transmettre impérativement les paramètres mentionnés ci-après afin de déterminer une solution techniquement réalisable et économique.

Cela comprend notamment l'indication d'au moins deux des valeurs citées ci-après:

- Développement
- Rayon de courbure
- Hauteur de flèche (intérieure ou extérieure)
- Angle d'ouverture.

En outre, il convient de mentionner la longueur du bord droit ainsi que le nombre de vitres

// Source: Flachglas (Schweiz) AG // Edition: août 2019