



Calcul de l'épaisseur du verre feuilleté

Le verre feuilleté est composé de plusieurs feuilles de verre assemblées par un intercalaire synthétique. Calculer correctement l'épaisseur du verre offre de nombreux avantages, à savoir une réduction de l'épaisseur du vitrage, une augmentation de sa fiabilité, une plus grande facilité de mise en œuvre, des économies en matière de transport, sans oublier une amélioration de la sécurité des ouvriers.

É. Dupont, ing., conseiller principal sénior, direction 'Normalisation et certification', Buildwise

Alors que la série de normes NBN EN ISO 12543 aborde la durabilité du verre feuilleté, la norme NBN S 23-002 (et son addendum) traite du choix du verre et donc des situations dans lesquelles un verre de sécurité doit être utilisé en Belgique.

Transfert des efforts de cisaillement

La **rigidité du verre feuilleté** dépend de la qualité du transfert en cisaillement entre les différentes feuilles de verre, également appelées 'plis', qui le constituent. Ainsi, en fonction des caractéristiques mécaniques de l'intercalaire, le verre feuilleté peut se comporter différemment : soit comme un simple empilement de feuilles de verre, soit comme un verre monolithique dont l'épaisseur est égale à la somme de l'épaisseur de ses composants. La différence est très importante et influence grandement le poids du verre à mettre en œuvre.

Prenons le cas d'un verre feuilleté 33.2. Celui-ci est composé de deux plis de verre de 3 mm et de deux films PVB de 0,38 mm formant dès lors un intercalaire d'une épaisseur de 0,76 mm. Si cet intercalaire a la capacité de transférer la totalité des efforts de cisaillement d'un pli à l'autre, l'épaisseur équivalente de calcul du verre feuilleté sera de 6,76 mm. Par contre, si l'intercalaire n'a aucune capacité de transférer les charges, l'épaisseur équivalente de calcul sera de 3,76 mm.

La **norme NBN S 23-002** permet de déterminer si un verre feuilleté peut être mis en œuvre. Supposons dès lors que notre verre feuilleté 33.2 mesure 1,3 x 2,4 m, qu'il soit appuyé sur quatre côtés et soumis à une pression de vent de 1.000 Pa. Si l'intercalaire a la capacité de transférer la totalité des efforts de cisaillement d'un pli à l'autre, la contrainte dans le verre feuilleté sera de 15,6 MPa et sa déformation de 9,1 mm. Puisqu'il répond aux critères de déformation ($\leq 10,4$ mm) et de contrainte de flexion ($\leq 18,5$ MPa) établis dans la norme NBN S 23-002-2, il peut être installé. En revanche, si l'intercalaire a une capacité de

transfert nulle, la contrainte dans le verre sera de 19,2 MPa et sa déformation de 20,9 mm, ce qui signifie qu'il ne pourra pas être mis en œuvre. Un verre feuilleté 44.2 ne sera pas non plus satisfaisant, car il présente une déformation de 14,6 mm. Pour ce projet, il faudra opter pour un verre 55.2.

Ceci souligne toute l'importance de **disposer d'un modèle de calcul précis** du verre feuilleté.

Modèle de calcul selon la norme NBN S 23-002-2

La norme NBN S 23-002-2 propose actuellement un modèle de calcul relativement simpliste des épaisseurs équivalentes



Shutterstock

de verre feuilleté. Celui-ci tient compte d'une capacité forfaitaire de transfert du cisaillement, exprimé par le **coefficient ω** . Ce dernier est cependant peu précis et la méthode pour le déterminer est sujette à interprétation. En outre, la norme ne permet qu'une utilisation forfaitaire de maximum 20 % du transfert en cisaillement, c'est-à-dire un coefficient ω de 0,2.

Ainsi, si l'on applique ce modèle de calcul à un verre feuilleté 44.2, la contrainte dans le verre sera de 13,5 MPa et sa déformation de 10,7 mm. Cette fois encore, le verre est non conforme aux exigences de la norme NBN S 23-002-2 et il faut, cette fois encore, prévoir un verre 55.2.

Modèle de calcul selon la méthode EET

D'un point de vue mécanique, il se trouve que la capacité de l'intercalaire à transmettre les efforts de cisaillement dépend des paramètres suivants :

- les **conditions d'appuis du verre feuilleté** : 2, 3, 4 appuis continus, encastré à la base (garde-corps, par exemple), ...
- la **géométrie du verre**, généralement rectangulaire. Les formes triangulaires ou en losange sont possibles, mais influencent le transfert en cisaillement
- le **type de charge appliquée** : ponctuelle, linéaire ou uniformément répartie
- le **module de cisaillement de l'intercalaire**, qui est fonction de sa nature, de sa température et de la durée d'application de la charge (par exemple : courte pour le vent, moyenne pour la neige et permanente pour le poids propre du vitrage en toiture).

Afin de prendre en compte tous ces paramètres, l'université de Parme a développé la **méthode dite EET**, pour *Enhanced Effective Thickness*. Bien que les formules développées

soient compliquées, cette méthode est très précise et contribue à diminuer significativement l'épaisseur et donc le poids des vitrages. Elle a été normalisée dans le cadre des travaux effectués pour le futur Eurocode 11, dédié aux structures en verre et auxquels Buildwise participe très activement.

Toujours dans le cas de notre exemple de verre feuilleté 33.2, l'intercalaire étant formé de deux films PVB clairs classiques, le coefficient ω déterminé par la méthode EET est de 0,92. La contrainte dans le verre serait de 15,6 MPa et sa déformation de 9,6 mm, ce qui signifie que ce vitrage conviendrait. Son poids serait alors 40 % inférieur à celui calculé sur la base des hypothèses de la norme NBN S 23-002-2.

Soulignons enfin qu'en cas de vitrage isolant, il est primordial, d'un point de vue sécuritaire, de **ne pas sous-estimer le coefficient ω** . En effet, comme dans toutes structures hyperstatiques, l'erreur commise sur la rigidité réelle du verre feuilleté faussera la répartition des charges sur chacun des verres constituant le vitrage isolant et le calcul de la pression dans la cavité.

Par exemple, pour un vitrage isolant de 1,3 x 2,4 m, de composition 3/16/33.2, soumis à une pression de vent de 1.000 Pa avec un coefficient ω de 0,2 suivant la norme NBN S 23-002-2, la résultante est de 340 Pa sur le verre extérieur et de 670 Pa sur le verre intérieur. Avec un coefficient ω de 0,54 calculé suivant la méthode EET, la résultante est cette fois de 133 Pa sur le verre extérieur et de 879 Pa sur le verre intérieur. De plus, recourir à un vitrage feuilleté plus rigide, comme c'est le cas dans la réalité, provoquera une augmentation de la pression dans la cavité sous l'effet des variations de température et de pression atmosphérique.

Conclusion

Si la méthode EET semble compliquée de prime abord, son adoption ne présente que des avantages. Elle permet effectivement :

- de réduire considérablement des épaisseurs de verre en se basant sur un calcul plus précis
- d'augmenter la fiabilité des produits verriers composés de verre feuilleté
- de faciliter la mise en œuvre
- d'effectuer des économies en matière d'énergie de transport
- d'améliorer la sécurité des ouvriers.

C'est en outre un élément très favorable pour la déclaration environnementale de produits (EPD).

Par conséquent, et en accord avec les Comités techniques concernés, Buildwise entreprendra les actions nécessaires pour adopter cette méthode dans le cadre des spécifications belges et mettre à disposition de ses membres des outils de dimensionnement simples et pratiques. 

Cet article a été rédigé dans le cadre de l'Antenne-Normes 'Eurocodes structuraux' subventionnée par le SPF Économie.

