

## Bris spontané du verre : les causes et les solutions

par Michael L. Rupert

Au cours des dernières années, il y a eu plusieurs incidents très médiatisés où le verre de fenêtres ou de balcons d'immeubles de grande hauteur s'était brisé spontanément causant la chute de débris de verre, notamment à Toronto, à Chicago, à Las Vegas et à Austin. Bien que de tels événements surviennent rarement, le danger qu'ils représentent a forcé les rédacteurs des codes du bâtiment, les architectes, les fonctionnaires et les professionnels de l'industrie et des domaines connexes à réexaminer quels types de verre devraient être prescrits pour les applications de verre où la résistance du verre et la protection des passants revêtent une importance capitale.

Dans le cas des architectes et des rédacteurs de devis, il importe qu'ils disposent de renseignements généraux au sujet des causes possibles du bris spontané du verre et de certaines conceptions erronées quant à sa spontanéité. Le terme *verre de sécurité* désigne généralement tout type de verre conçu afin de réduire le risque de blessures graves lorsqu'il entre en contact avec des gens. En plus des balcons, le verre de sécurité entre habituellement dans la conception :

- des portes coulissantes de verre;
- des portes de douche;
- des meubles de jardin;
- des lanterneaux;
- du verre de four;
- des pare-brise d'automobiles.



En raison de l'augmentation du nombre d'incidents de bris spontané, l'industrie du verre examine de nouvelles façons de rendre les installations plus sécuritaires.

### **Les verres trempé, laminé et renforcé à la chaleur**

Le type le plus courant de verre de sécurité est le verre trempé, qui est fabriqué en chauffant des panneaux de verre pré-coupés à environ 650 °C (1200 °F), puis en les refroidissant rapidement à l'aide d'un procédé appelé *trempe*. En refroidissant les surfaces externes du panneau plus rapidement que son centre, la trempe entraîne une compression des surfaces et des extrémités du verre et une tension de son centre.

En plus de faire du verre trempé un verre quatre à cinq fois plus résistant que le verre recuit conventionnel, le fait de chauffer le verre de nouveau, puis de le refroidir rapidement altère considérablement les caractéristiques du bris du verre. Ainsi, lorsque le verre trempé est cassé, il se brise en milliers de minuscules galets, ce qui élimine pratiquement tout risque de blessures causées par les bords coupants et les éclats de verre.

Quant au verre laminé — un autre type de verre de sécurité —, il est constitué d'un film de vinyle (généralement du polybutyral de vinyle [PVB]) intercalé entre deux feuilles de verre afin de maintenir les morceaux en place si le verre se brise. Bien que le verre laminé soit ordinairement associé aux vitres de pare-brise, il est de plus en plus prescrit pour les devantures de magasin, les murs rideaux et les fenêtres afin de satisfaire aux exigences des codes en matière de verre anti-ouragan.

Une troisième option est le verre renforcé à la chaleur. Techniquement, il ne s'agit pas d'un verre de sécurité, car lorsqu'il se brise, il peut libérer de larges éclats coupants pouvant causer des blessures graves. Cela étant dit, lorsqu'il est combiné à un film intercalaire qui permet de maintenir le verre en place en cas de bris, le verre renforcé à la chaleur satisfait tout de même aux exigences du Titre 16, Partie 1201 du *Code of Federal Regulations* (CFR) de la Consumer Product Safety Commission (CPSC) et de la Classe A de la norme ANSI Z97.1, *Safety Glazing Materials Used in Buildings — Safety Performance Specifications and Methods of Test*, de l'American National Standards Institute pour de nombreuses applications requérant du verre de sécurité.

Comme dans le cas du trempage, le renforcement à la chaleur implique l'exposition de panneaux de verre précoupés à des températures pouvant atteindre 650 °C. Le processus de refroidissement est toutefois plus lent dans le cas de ce procédé. Le verre renforcé à la chaleur n'est pas aussi résistant que le verre trempé étant donné que la force de compression est plus faible, soit environ 24 130 à 51 710 kPa (3500 à 7500 lb/po<sup>2</sup>) par rapport à 68 950 kPa (10 000 lb/po<sup>2</sup>) ou plus. Il est cependant deux fois plus résistant que le verre recuit. C'est pourquoi le verre renforcé à la chaleur est souvent prescrit pour des applications requérant une résistance au stress thermique ainsi qu'aux surcharges dues à la neige ou au vent.

### **Les causes des bris de verre**

Les incidents de bris spontané du verre qui sont survenus à Chicago, à Las Vegas, à Austin et à Toronto impliquaient exclusivement du verre trempé. Malgré sa résistance accrue et sa grande capacité à satisfaire aux exigences en matière de verre de sécurité, il est en fait particulièrement sujet à ces types de bris. Ironiquement, c'est en fait la zone de tension créée au centre du panneau de verre trempé grâce au procédé de trempage qui rend le verre aussi sujet à de tels bris catastrophiques.



L'utilisation de verre de sécurité est généralement requise dans le cas des portes coulissantes de verre, des portes de douche et des meubles de jardin. Le terme *verre de sécurité* désigne généralement tout type de verre conçu afin de réduire le risque de blessures graves.

### *La piètre qualité des extrémités*

Il existe de nombreuses causes pouvant entraîner le bris spontané de verre trempé. La principale cause est que les extrémités du verre ont été abîmées lors de la coupe du panneau précédant la trempage ou qu'elles ont été entaillées ou ébréchées lors de l'emballage, de la manutention ou de l'installation sur place.

Il se peut que ce type de dommages ne soit pas facilement visible. Les concentrations de contraintes entourant ces imperfections peuvent être le résultat de l'expansion et de la contraction du verre à la suite de changements de température, d'une charge de vent, du mouvement de l'édifice ou d'autres facteurs environnementaux. Éventuellement, lorsque ces contraintes entraînent le bris du verre, le bris peut sembler spontané alors qu'en fait les circonstances du bris avaient été mises en place des mois, voire des années, plus tôt.

#### *Un défaut d'ingénierie du cadrage*

L'expansion et la contraction des éléments du cadrage peuvent causer le bris du verre, bris qui, une fois de plus, semble spontané. Ce type de problèmes survient lorsqu'il manque les joints d'étanchéité, les cales d'appui ou les blocs de bordure du cadre d'une fenêtre en métal ou d'un mur rideau ou qu'ils ne protègent pas suffisamment le verre des contacts avec le métal provoqués par des mouvements causés par la température ou le vent. Ces contacts avec le cadre de métal peuvent occasionner des dommages aux extrémités ou à la surface du verre, ce qui crée des tensions qui provoqueront éventuellement le bris du verre sans raison apparente.

#### *Le stress thermique*

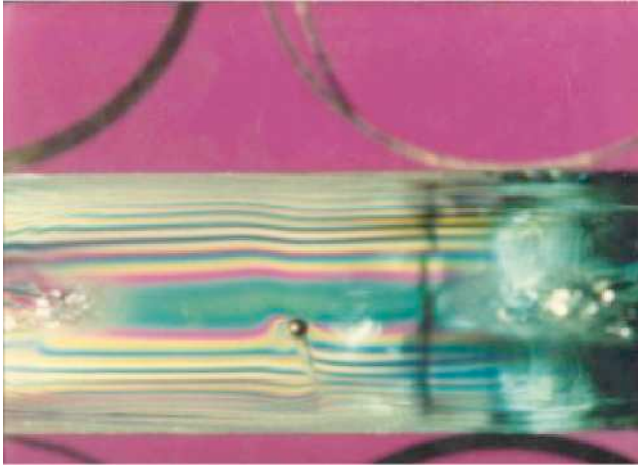
Une autre cause pouvant entraîner le bris spontané du verre est le stress thermique. Le stress thermique du verre résulte d'une différence de température positive entre le centre et les extrémités du verre, c'est-à-dire que le centre se trouve à être plus chaud que les extrémités. L'expansion du centre chauffé crée une contrainte de tension aux extrémités du verre. Si le stress thermique excède la capacité de résistance des extrémités, le verre se brise.

De nos jours, il est particulièrement important de prendre en compte le stress thermique étant donné que les tendances architecturales actuelles de même que la soif d'éclairage naturel poussent l'industrie à demander des unités scellées plus grandes comprenant des revêtements à contrôle solaire (pellicule à faible émissivité). Les unités scellées de grande taille ont, par leur nature même, de plus grandes surfaces et extrémités, et lorsqu'il est question de les combiner à des revêtements conçus pour contrôler l'énergie solaire, des analyses plus rigoureuses devront être effectuées relativement au stress thermique.

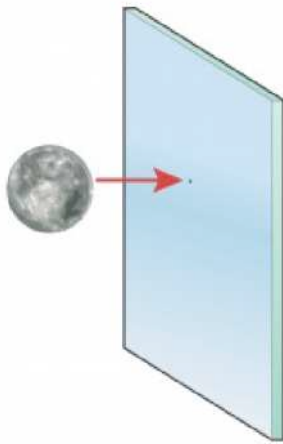
#### *Des inclusions de sulfure de nickel*

Une cause bien moins fréquente, quoique souvent mentionnée, pouvant provoquer le bris spontané du verre est la présence d'inclusions de sulfure de nickel (NiS) dans le verre trempé. En effet, de petites particules de sulfure de nickel peuvent se former au hasard lors de la production de verre flotté. Ces inclusions sont généralement bénignes, et ce, même lorsqu'elles se trouvent dans du verre trempé.

Les fabricants de verre en Amérique du Nord n'utilisent pas de nickel dans la composition du verre primaire et prennent toutes les mesures possibles pour éviter l'inclusion de tout élément nickélique dans leurs procédés de fusion du verre. Malgré de rigoureux contrôles de la qualité et des procédures visant à diminuer les risques de particules de sulfure de nickel, il n'existe actuellement aucune technologie capable d'éliminer complètement leur formation dans le verre flotté.



Les particules de sulfure de nickel sont minuscules, extrêmement rares et se retrouvent au hasard dans le verre flotté. Cette combinaison de caractéristiques rend fort difficile, voire carrément impossible, toute inspection visuelle dans le but de les détecter.



Aucune technologie connue n'est capable d'éliminer complètement la formation de particules de sulfure de nickel dans le verre flotté. De plus, puisque les particules de sulfure de nickel sont si petites, il n'existe aucun moyen pratique de vérifier leur présence dans le verre flotté.

Les particules de sulfure de nickel sont assez petites et leur présence dans le produit de verre final est visée par la norme ASTM C1036, *Standard Specification for Flat Glass*, qui permet la présence d'imperfections (y compris les particules de sulfure de nickel) mesurant entre 0,5 et 2,5 mm (1/50 à 1/10 po) dans du verre flotté, selon les dimensions et la qualité du verre.

Si les inclusions de sulfure de nickel peuvent également se trouver dans le verre recuit et le verre renforcé à la chaleur, les problèmes qu'elles causent sont toutefois propres au verre trempé en raison du procédé de trempage. Le bris est dû à l'expansion volumétrique des particules. Comme il a été expliqué plus tôt, lors des processus de recuit et de renforcement à la chaleur, le verre est refroidi plus lentement, à des températures contrôlées, ce qui provoque un changement de phase des particules de sulfure de nickel présentes (on parle du passage de la phase alpha à la phase bêta ou encore du passage à la phase cristalline) au cours duquel les particules sont en pleine expansion, atteignent leur taille définitive et demeurent stables par la suite.

Lors du processus de trempage, ce changement de phase est interrompu par le refroidissement rapide (la trempé), ce qui fait en sorte que les particules de sulfure de nickel présentes restent emprisonnées dans leur état pré-changement de phase de taille réduite. Ensuite, lorsque le verre trempé installé est exposé à des températures plus élevées causées par les gains de chaleur solaire ou autres facteurs de hautes températures, les particules de sulfure de nickel ont alors l'occasion de poursuivre leur expansion

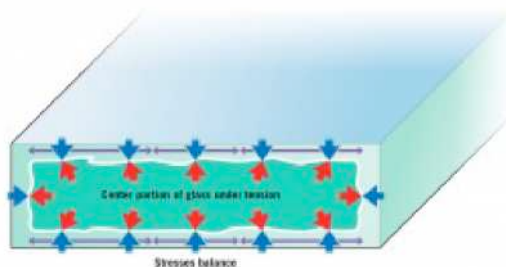
volumétrique. Si l'expansion est suffisante et qu'une particule est située au centre de la zone de tension du panneau de verre trempé, la contrainte que cela provoquera sera suffisante pour briser le verre.

#### **Le test *heat soak* représente-t-il la solution?**

Comme il a déjà été mentionné, les particules de sulfure de nickel sont minuscules, extrêmement rares et se retrouvent au hasard dans le verre flotté, ce qui rend fort difficile, voire impossible, toute inspection visuelle dans le but de les détecter. C'est pourquoi certains fabricants de verre et vitreries commerciales offrent du verre trempé traité avec le test *heat soak* comme solution possible afin de limiter le risque de bris spontané du verre.



Lorsque le verre trempé est cassé (comme l'illustre l'image ci-dessus), il se brise en milliers de minuscules galets, ce qui élimine pratiquement tout risque de blessures causées par les bords coupants et les éclats de verre.



La compression de surface du verre renforcé à la chaleur le rend environ deux fois plus résistant que le verre recuit. Le verre renforcé à la chaleur est généralement utilisé dans les cas où le verre doit être adapté aux charges thermiques ou mécaniques causées par la chaleur, le vent ou la neige.

Par ce procédé, le fournisseur verrier expose un lot entier ou un échantillon statistique de panneaux de verre trempé à des températures se situant entre 288 et 316 °C (550 à 600 °F) pendant une période de deux à quatre heures. L'objectif est d'amorcer ou d'accélérer le changement de phase des possibles inclusions de sulfure de nickel et de provoquer le bris du verre avant de l'envoyer au client final.

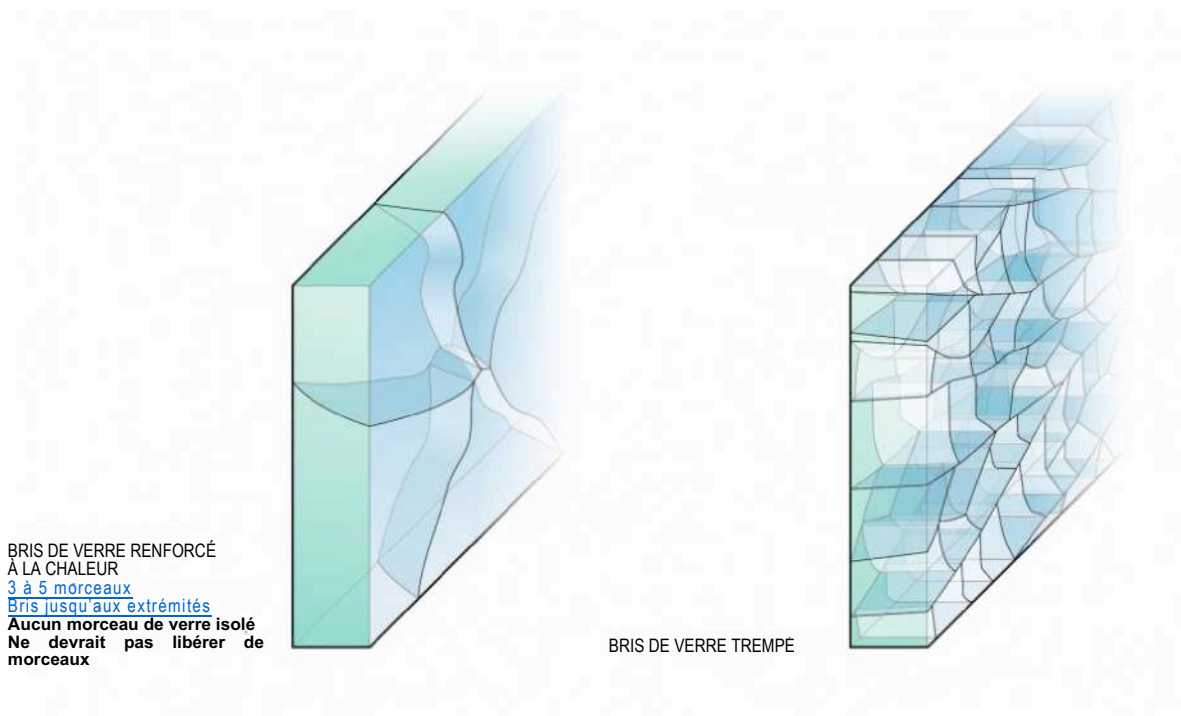
Bien que cette méthode — qui vise le bris immédiat du verre plutôt qu'une fois qu'il a été remis au client — permette d'éliminer des panneaux de verre trempé défectueux avant leur livraison, elle n'offre toutefois pas une garantie à 100 % contre le bris spontané. Même les partisans du test *heat soak* prennent soin de préciser que le procédé ne peut que diminuer ou limiter le risque de bris spontané du verre trempé; en aucun cas utiliseront-ils les mots *prévenir* ou *garantie*.

### Les risques associés au test heat soak

Le test *heat soak* comprend des risques qui pourraient l'emporter sur les avantages possibles. Par exemple, de petites inclusions qui étaient alors stables pourraient entamer un changement de phase au cours du test. S'il est possible que le changement de phase ne soit pas suffisant pour provoquer le bris du verre durant la réalisation du test, il se peut cependant que la transformation se poursuive à la suite de l'installation du verre et que celui-ci se brise.

Une nouvelle exposition du verre trempé à des températures élevées, requises aux fins du test *heat soak*, risque également de réduire sa compression de surface, soit la source de sa résistance. Finalement, le test pourrait nuire à la capacité du verre à satisfaire aux exigences en matière de sécurité ou de résistance pour lesquelles il avait été prévu.

De plus, ce test ajoute une étape supplémentaire de manipulation au processus de fabrication, ce qui multiplie les risques d'endommager les extrémités, d'égratigner la pellicule à faible émissivité ou d'en altérer la couleur, ou de causer toute autre imperfection qui pourrait affecter la durabilité ou le rendement de l'unité de verre trempé.



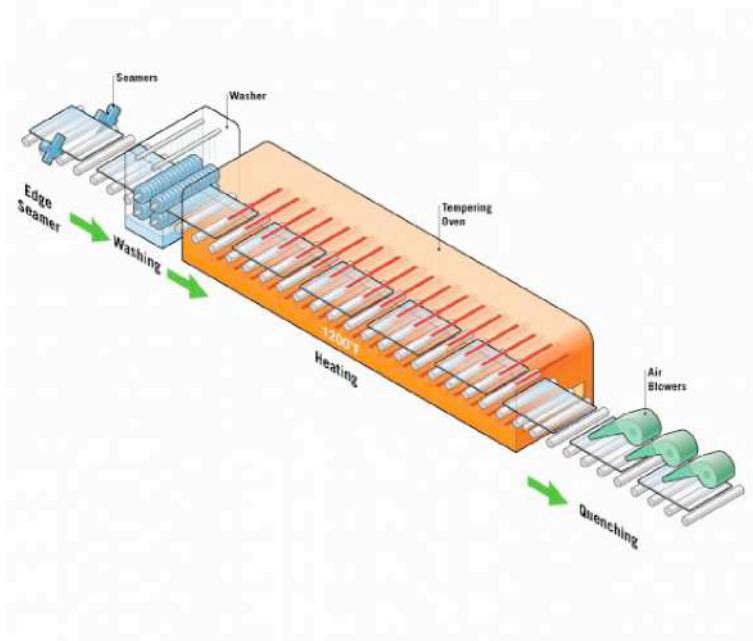
Comme le démontrent les illustrations précédentes, le verre renforcé à la chaleur et le verre trempé se brisent différemment.

### Des solutions à des fins de sécurité

Au cours des derniers mois, deux organisations ont fait des annonces importantes en grande partie en réaction aux incidents de chute de verre qui se sont produits notamment à Toronto, à Chicago, à Las Vegas. Les deux organisations en arrivaient au même constat, à savoir que l'utilisation de verre trempé ou renforcé à la chaleur laminé constitue la solution la plus efficace pour rendre les balcons et autres types de produits de verre en hauteur plus sécuritaires.

Au Canada, un Comité d'experts pour l'examen des panneaux vitrés des garde-corps de balcon, mis sur pied par le ministère des Affaires municipales et du Logement de l'Ontario, a recommandé que les codes du bâtiment soient modifiés afin qu'ils imposent l'utilisation de verre renforcé à la chaleur laminé pour tout garde-corps ou vitrage posé au-delà du bord de la dalle du balcon ou à 50 mm (2 pouces) ou moins du bord de la dalle du balcon. Dans le cas du vitrage situé à l'intérieur du balcon, de plus de 50 mm du bord, le Comité recommande l'utilisation de verre trempé traité avec le test *heat soak* ou de verre renforcé à la chaleur laminé.

Dans le même ordre d'idées, en décembre 2012, l'International Code Council (ICC) a adopté une modification proposée par le Glazing Industry Code Committee (GICC) qui imposait l'utilisation de verre laminé dans les montages de rampes et les garde-corps. Selon les nouvelles dispositions du code, le verre laminé doit être composé de verre trempé simple, de verre trempé laminé ou de verre renforcé à la chaleur laminé.



Le verre trempé et le verre renforcé à la chaleur sont fabriqués à l'aide des mêmes procédés de base de chauffage et de refroidissement.

### Conclusion

Compte tenu des avancées et des recommandations présentées dans le présent article, il ne fait aucun doute que la combinaison d'un film intercalaire à un verre trempé ou renforcé à la chaleur peut offrir un ensemble optimal de caractéristiques aux applications pour lesquelles le risque de blessures causées par la chute de morceaux de verre constitue la principale préoccupation. Quant aux applications qui ne nécessitent pas de verre de sécurité et pour lesquelles on recherche tant force que résistance au bris spontané, le verre renforcé à la chaleur non laminé devrait être envisagé en raison de son coût moins élevé.

*Michael L. Rupert est le directeur des services techniques et du développement de nouveaux produits en matière de verre plat pour PPG Industries. Au service de l'entreprise depuis 39 ans, il est également un membre du conseil d'administration de la Glass Association of North America (GANA) et préside le Service de la fabrication du verre plat. M. Rupert détient un baccalauréat en génie civil et une maîtrise en administration des affaires de l'Université de Pittsburgh.*