



Prévenir les désordres,
améliorer la qualité
de la construction

PÔLE
OBSERVATION

AVRIL 2021

COMMUNICATION DE L'OBSERVATOIRE

FOCUS VITRAGE



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

CADRE DE COLLABORATION

Les productions 2020 de l'AQC existent
grâce aux données signalées à l'AQC
par les experts construction avec le soutien
de la CFEC, de la FFA et du SNEIC.

Remerciements particuliers à Messieurs Serge Escaich, Bernard Savaète,
Jean Pierre Houdaer, Jacques Aubert, Michel Baufumé,
Olivier Douard

*de la Compagnie Nationale des Experts de Justice du Verre
et Techniques Associées (CNEJV) et de l'Association des Experts du Verre,*
pour le travail d'analyse des désordres et la rédaction du document
et à l'ensemble des professionnels pour leur relecture attentive.

Retrouvez le document en ligne sur le site
<https://qualiteconstruction.com>

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1. LA PATHOLOGIE DU VERRE	5
1.1 Quelques chiffres de sinistralité	5
1.2 Causes techniques des désordres	9
1.2.1 La casse thermique	9
1.2.2 La casse spontanée du verre trempé thermiquement en présence d'inclusions de sulfure de nickel	15
2. RÈGLES DE L'ART ET ASSURABILITÉ	18
2.1 Les Règles de l'art	18
2.1.1 Normes	18
2.2 L'assurabilité	18
2.2.1 Responsabilité et garanties	18
2.2.2 Bonnes pratiques	19
Technique courante et technique non courante	19
3. LES ACTIONS DE PRÉVENTION	20
3.1 La casse thermique	20
3.1.1 Calcul prévisionnel de risque	20
3.1.2 Dispositions constructives	20
3.1.3 Les bonnes pratiques	20
3.2 La casse spontanée de verre trempé thermiquement en présence d'inclusion de sulfure de nickel	21
3.2.1 Dispositions constructives et bonnes pratiques	22
3.2.2 En conclusion	23
3.2.3 Que faire si une casse de verre trempé se manifeste ?	23
4. GLOSSAIRE/DÉFINITION DE DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE	24
5. RÉFÉRENCES	25

AVANT-PROPOS

Le verre partie prenante de la construction

La quête de la transparence dans la construction a été accompagnée par l'industrie, qui a ouvert le champ des possibles.

Cette transparence s'exprime depuis le milieu du XIX^{ème} siècle avec le développement des vitrages. La première construction remarquable a été le « Crystal Palace » construit en 1850 à Hyde Park, inauguré le 1^{er} mars 1851 à l'ouverture de la première exposition universelle au Royaume Uni. Le verre est passé d'un élément d'ouverture, à un élément de couverture, et de façade pour devenir un geste architectural. Le premier à l'avoir démontré est Ludwig Mies Van der Rohe avec la « Farnsworth House » conçue et construite entre 1946 et 1951. Le verre se décline alors dans toutes ses capacités. Il est désormais devenu le matériau de prédilection des acteurs de la construction, sublimé par les architectes et les concepteurs, comme l'attestent les constructions récentes.

Un environnement technique

Le développement du verre dans la construction a connu une première évolution à la suite du choc pétrolier de 1973 et des économies d'énergie qui en découlèrent. Les vitrages sont devenus plus techniques, avec la mise en place de nouveaux procédés de fabrication, comme l'usage du gaz entre les doubles vitrages. L'évolution s'est poursuivie avec les réglementations thermiques qui se sont succédées, de la « RT 1982 » à la « RT 2012 ». La dernière réglementation environnementale dite RE 2020 s'appliquera dès le 1^{er} Janvier 2022. Les bâtiments neufs seront à énergie positive. Sans nul doute, les vitrages prendront leur part dans cette quête à l'économie d'énergie dans les constructions.

L'évolution de la réglementation s'est également appliquée aux locaux d'activités avec les réglementations thermiques 2005 et 2012.

Le présent document s'attache à souligner les points de vigilance relatifs à la casse thermique et la casse spontanée. Il rappelle comment il répond aux enjeux de l'évolution des réglementations, nécessitant compétences techniques et professionnalisme.

1. LA PATHOLOGIE DU VERRE

1.1 Quelques chiffres de sinistralité

Le dispositif d'observation Sycodés, regroupe les fiches produites par les experts « construction » mandatés par les assureurs DO (Dommages-Ouvrage) suite à la déclaration de sinistre par le maître d'ouvrage.

Cette base regroupe ainsi des données sur les pathologies relevant de la garantie décennale dans la construction. Elle ne concerne que les déclarations DO (Dommages-Ouvrage) prises en garantie et dont les coûts de réparation sont compris entre 762 € HT et 250 000 € HT.

L'objectif fondateur de la base est d'offrir aux professionnels du secteur un retour d'information statistique sur les origines techniques des désordres. Elle a aussi pour but d'évaluer l'impact des actions de prévention sur l'évolution des désordres déclarés.

L'échantillon est alimenté régulièrement par les experts à l'aide d'une plateforme dédiée, et compte aujourd'hui environ 500 000 fiches enregistrées depuis 1995.

L'échantillon est loin d'être exhaustif de toutes les pathologies de la construction, mais il permet de mener les études nécessaires pour détecter les grandes familles de pathologies et leurs évolutions relatives.

Bien sûr, ce système a des limites et les résultats doivent être lus comme des ordres de grandeurs.

Au-delà des chiffres, ce ne sont pas tant les indicateurs eux-mêmes que leurs évolutions relatives qui représentent un intérêt. Car le but est de livrer des évolutions, incitant chacun à améliorer ses pratiques, par la prévention et la formation notamment.

Le vitrage n'est pas répertorié dans les techniques créant le plus de pathologies. Cependant, le coût des réparations des vitrages en locaux d'activités s'avère souvent supérieur aux valeurs de seuils. Ce document a donc pour objet d'informer sur les pathologies rencontrées et la mise en place de bonnes pratiques pour éviter les principaux désordres récurrents.

Dans le cadre de la codification mise en place avec la création de la nomenclature Sycodès, nous retrouvons le verre dans deux types d'éléments d'ouvrage distincts, à savoir la façade légère, et le vitrage.

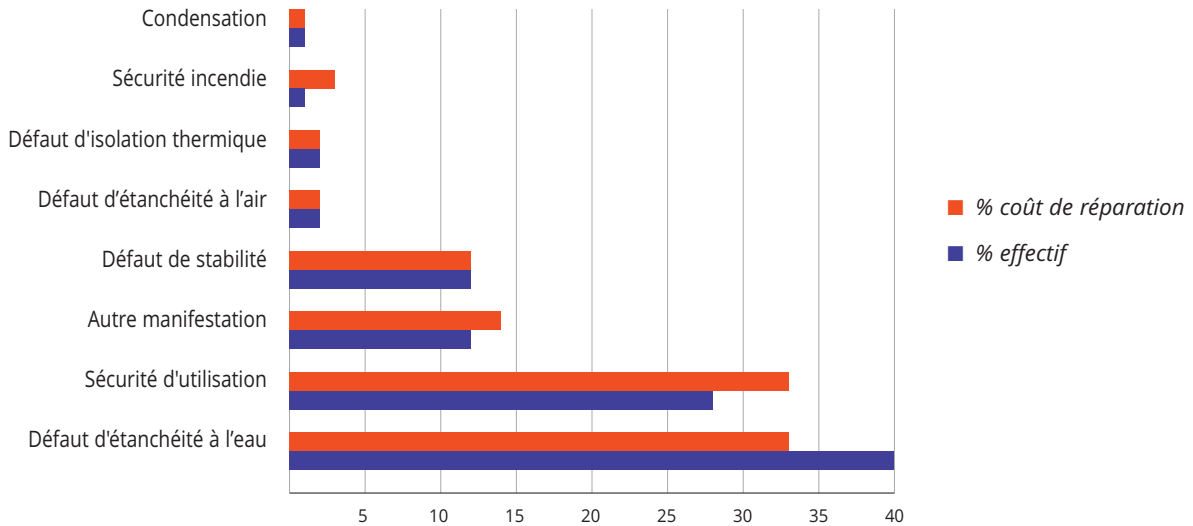
Les façades légères comprennent le vitrage extérieur collé et la façade en verre (y compris les façades rideaux, etc.). Le vitrage comprend le vitrage simple, le vitrage isolant et « autre vitrage ». Ce dernier concerne spécifiquement les verres trempés, feuilletés et les verres armés.

Il est aussi à retenir que le bris de glace représente 464 000 sinistres déclarés en 2019, auprès des assureurs, pour un montant de 116 Millions d'Euros dans le cadre de la garantie des contrats MRH (Multi Risques Habitation).

Le bris de glace dans l'habitation, peut concerner de nombreux éléments : les fenêtres, les baies vitrées et les fenêtres de toit, bien sûr, mais également les fours, les miroirs et les meubles vitrés.

■ **Manifestation des désordres « façades vitrées » et « vitrages » pour les locaux d'activités 2008-2020 :**

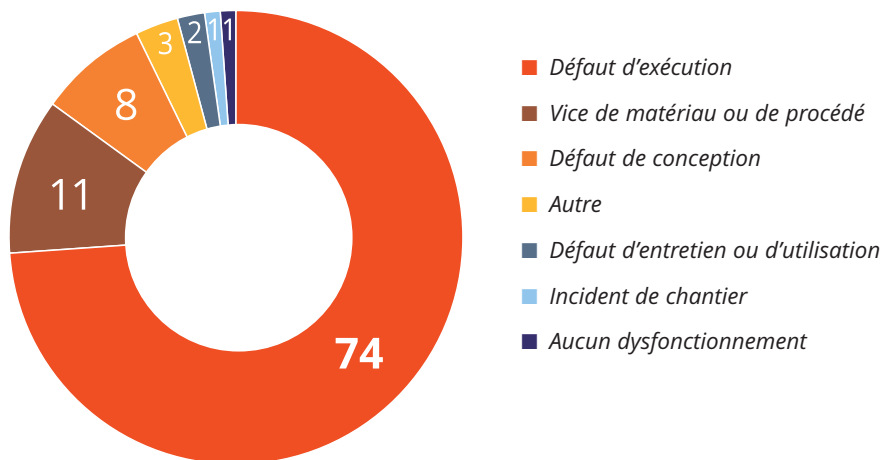
RÉPARTITION PAR EFFECTIF ET COÛT DE RÉPARATION



Les désordres répertoriés pour les façades vitrées et les vitrages en locaux d'activité se manifestent principalement par le défaut d'étanchéité à l'eau pour 40 % des cas et représentent 33 % des coûts de réparation. Ils correspondent à des problèmes de tenue des joints périphériques, qui étanchent le volume verrier, mais aussi à la blessure du joint lors de la réalisation du volume. La sécurité d'utilisation représente 28 % des manifestations, correspondant au risque d'éclatement du verre avec mise en jeu de la sécurité des personnes.

■ **Dysfonctionnement à l'origine des désordres des « façades vitrées » et « vitrages » pour les locaux d'activités 2008-2020 :**

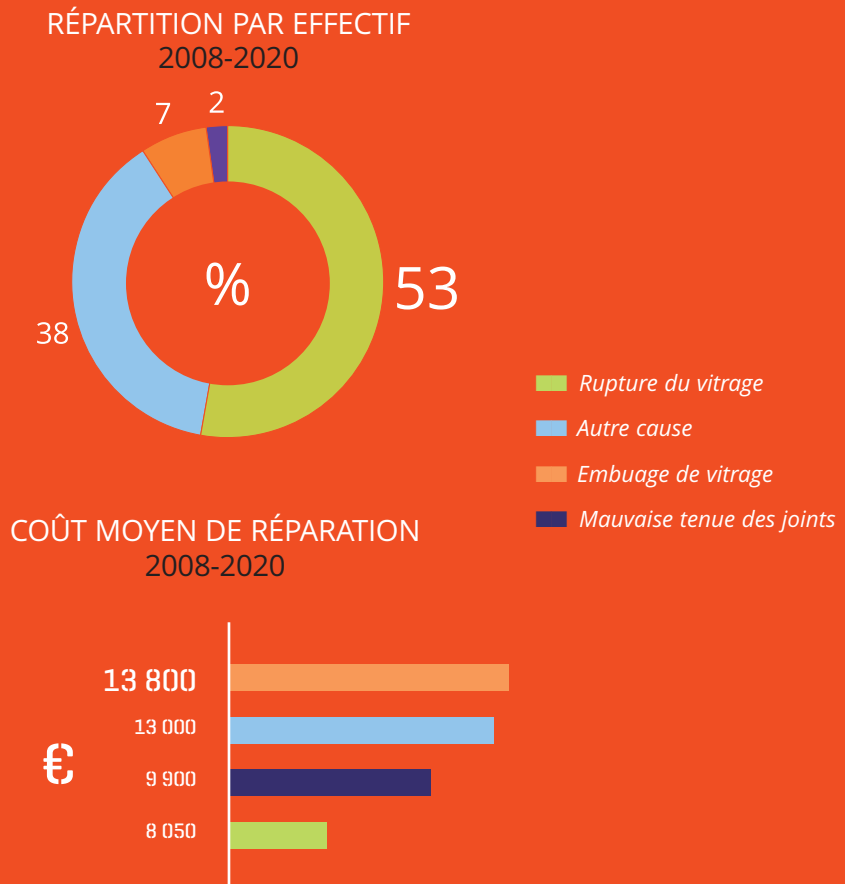
RÉPARTITION PAR EFFECTIF EN POURCENTAGE



74 % des sinistres ont pour origine un défaut d'exécution, pour 64 % des coûts de réparation. Le vice de matériau ou de procédé, quant à lui, représente 11 % des effectifs, et concerne 14 % des coûts de réparation. Ensuite, nous avons 8 % des sinistres pour le défaut de conception, qui représente 15 % des coûts de réparation.

► ZOOM ◀ SUR LES VITRAGES

LOCAUX D'ACTIVITÉS



Cette répartition concerne les pathologies des vitrages simples, vitrages isolants et « autres vitrages ». La nomenclature est faite de telle sorte que les vitrages simples et « autres vitrages » ne présentent pas de statistiques différenciant les différentes pathologies.

Pour le vitrage isolant

La rupture du vitrage correspond principalement à de la casse thermique. Elle est souvent en lien avec l'environnement extérieur ou intérieur du bâtiment.

Le coût de réparation moyen est de 8 100 €.

L'intervention se cantonne à un remplacement du volume verrier.

L'embuage de vitrage représente 7 % de l'effectif des désordres répertoriés. Il est souvent consécutif à un défaut d'étanchéité du joint de scellement. Ils peuvent être consécutifs à un problème de fabrication, mais aussi à un désordre survenu lors du montage de la menuiserie extérieure, suite à l'application des parecloses.

Le coût moyen de réparation est de 13 700 €.

La mauvaise tenue des joints concerne généralement une déficience ou une mauvaise tenue dans le temps de ce dernier.

Le coût moyen de réparation est de 9 880 € pour le vitrage isolant.

Pour les vitrages simples et « autres vitrages », toutes les causes de pathologies sont confondues. Pourtant à la lecture des éléments, on constate, qu'une grande partie des casses est spontanée avec un montant moyen de réparation de 13 500 €, notamment dû à un important coût de fabrication pour certains verres, comme le verre trempé.

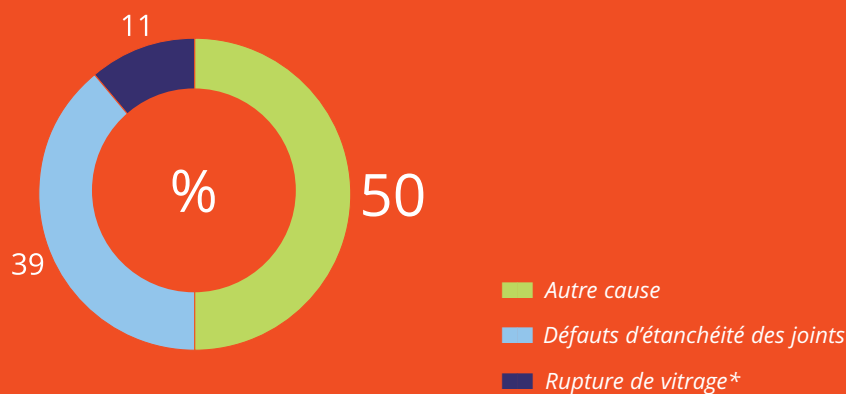
La réparation nécessite très souvent une sécurisation, la dépose et la pose de l'ouvrage.

On retrouve également les vitrages pare flammes. Les pathologies rencontrées concernent la mauvaise tenue de joints intumescent.

► ZOOM ◀ SUR LES FAÇADES VITRÉES

LOCAUX D'ACTIVITÉS

RÉPARTITION PAR EFFECTIF
2008-2020



COÛT MOYEN DE RÉPARATION
2008-2020



Le coût moyen de réparation pour les façades vitrées est de l'ordre de 12 000 €.

Ces coûts élevés s'expliquent par des interventions souvent en grande hauteur nécessitant la sécurisation des environs. Il s'agit aussi d'ouvrages techniques, chers à la fabrication.

Rupture de vitrage

La casse spontanée concerne une grande partie des désordres pour le vitrage extérieur collé, composé de verre trempé.

Le coût moyen de réparation est de l'ordre de 12 700 €.

Il est à noter que la façade en verre ne possède pas de classification « rupture de vitrage » dans la nomenclature D Sycodés, contrairement au vitrage extérieur collé. Nous retrouvons les ruptures de vitrage dans « Autre cause ». Cette situation s'explique dans la constitution de la nomenclature D Sycodés. Mais, nous avons dans ce graphique fait l'apport des ruptures de vitrage de la façade en verre, comprenant le VEA.

Défaut d'étanchéité des joints

Les désordres concernent généralement une déficience du joint ou une mauvaise tenue dans le temps de ce dernier. Le coût moyen de réparation est de 13 700 €.

Autre cause

En ce qui concerne le vitrage extérieur collé, les désordres relevés sont des défauts de collage du vitrage, des incidents de pose, voire de chantier. Pour la façade en verre, nous avons pu lire des déformations de joints organiques extrudés ou intumescents. Le coût moyen de réparation le plus important concerne le vitrage extérieur collé à un montant de 11 894 €. La façade en verre a un coût moyen de réparation de 11 296 €.

(*) Les effectifs, qui concernent les ruptures de vitrage pour la façade en verre, ont été importés dans l'élément d'ouvrage « Rupture de vitrage » alors qu'ils sont actuellement classés dans l'élément d'ouvrage « Autre cause ».

1.2 Causes techniques des désordres

1.2.1 La casse thermique

1.2.1.1 Comportement spécifique du verre

Il faut se rappeler que le verre :

- est assez mauvais conducteur de la chaleur ($\lambda = 1,15 \text{ W/m/K}$), soit 20 à 200 fois moins que l'aluminium ;
- présente un coefficient de dilatation thermique ($9 \times 10^{-6} \text{ m.K}^{-1}$) inférieur à ceux de l'acier ($11 \times 10^{-6} \text{ m.K}^{-1}$) et de l'aluminium ($23 \times 10^{-6} \text{ m.K}^{-1}$) ;
- ne flue pas. C'est-à-dire que sous un effort, il se déforme, mais il reprend sa forme initiale lorsque cet effort disparaît. Et cela jusqu'à atteindre sa limite de déformation, qui déclenche sa rupture brutale. Au plan mécanique, la limite élastique et la limite de rupture sont identiques, sans phase de plastification.

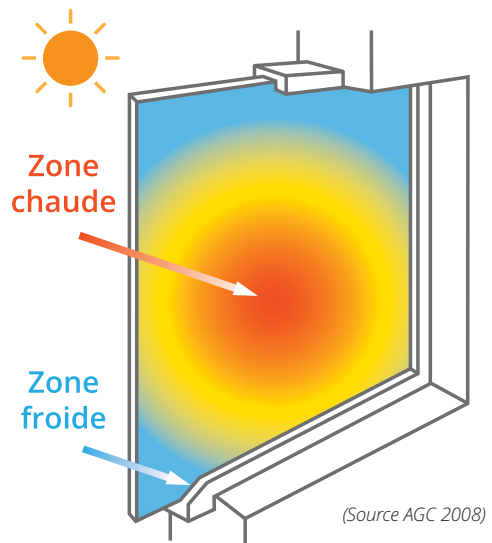
Au plan du comportement thermique, les verres utilisés dans le bâtiment sont sensibles aux écarts de température lorsqu'ils sont à l'état recuit et pas ou très peu sensibles s'ils sont respectivement à l'état trempé ou durci. Les normes, dont relèvent ces produits, fournissent le niveau des écarts qu'un verre est susceptible de pouvoir supporter sans dommage en l'absence de défaut de bord (écart de température différentiel ou changement brusque de température).

Ce sont :

Type de verre	Norme de référence	Écart de température maxi
verre recuit	NF EN 572, parties 1 à 9	40 K
verre trempé	NF EN 12150, parties 1 et 2	200 K
verre HST trempé	NF EN 14179, parties 1 et 2	200 K
verre durci	NF EN 1863, parties 1 et 2	100 K

1.2.1.2 Origine de la casse thermique

Lorsque 2 zones contiguës d'un même vitrage sont portées à des températures sensiblement différentes, il peut en résulter, selon la nature du verre, l'état de ses bords et l'écart de température, une casse dite thermique.



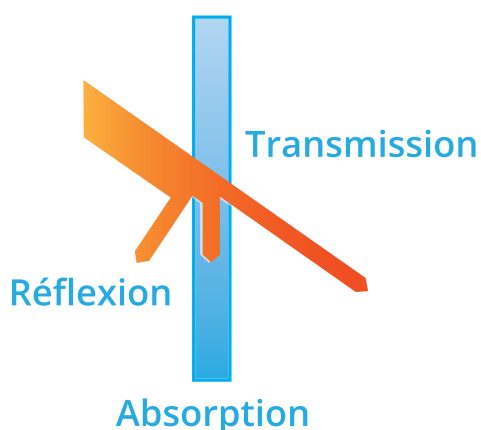
1.2.1.3 Mécanisme

Le verre, comme tout matériau, se dilate en fonction de la température. Lorsque deux zones d'un même verre présentent un écart de température, il en résulte un allongement différentiel entre elles. Dans l'exemple de la figure ci-dessus, la partie centrale, chaude, se dilate et se trouve donc comprimée par la zone froide qui l'entoure. Réciproquement cette dernière est soumise à extension.

Le verre présentant une résistance plus faible en traction qu'en compression, une fissure pourra s'amorcer à partir d'un bord puis se propager à travers le vitrage, si l'écart de température dépasse la limite acceptable. Les sources de chaleur qui peuvent, dans le bâtiment, provoquer un échauffement du verre sont :

Le rayonnement solaire

La chaleur est émise par le soleil sous la forme d'un rayonnement. L'énergie de ce rayonnement est en partie réfléchiée par la surface du verre, en partie absorbée par le verre ce qui va provoquer son échauffement et, pour le reste, traverse le verre pour atteindre les surfaces qui sont situées au-delà.



(Source Verre online)

Un verre est donc caractérisé par ses propriétés spectrophotométriques (coefficient de réflexion, d'absorption et de transmission énergétique). Pour une même composition chimique du verre de base la valeur de ces coefficients variera pour le vitrage final selon l'épaisseur du verre et selon que l'une des deux faces, ou les deux, aura reçu un dépôt de couche⁽¹⁾ ou non, et dans ce cas selon la position de la couche (côté soleil ou côté opposé, par convention faces dites 1 et 2 pour un verre monolithique).

Dans ces différentes constitutions, le verre s'échauffera d'autant plus que le verre sera épais et que la couche sera située côté face 2 plutôt que face 1.

La zone centrale du vitrage constitue sa partie "chaude".

La partie "froide" se trouve à proximité de l'entourage du vitrage lorsqu'il y en a un comme dans le cas de châssis vitrés. L'entourage est, généralement, plus froid que la partie centrale du verre et ce d'autant plus que l'inertie thermique de cet entourage est élevée. Du point de vue thermique, le classement des châssis ou des entourages de vitrage distingue les entourages à faible, moyenne et forte inertie.

Ces notions correspondent, respectivement, à une mise en équilibre de température plus ou moins rapide du bord des verres avec leur entourage.

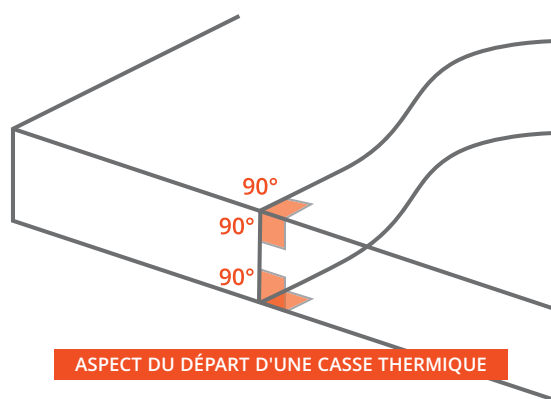
Une source thermique

Il s'agit d'un élément ou d'un objet qui est placé à proximité immédiate d'un vitrage ou qui est mis à son contact et qui envoie de la chaleur directement sur une partie de ce vitrage (émetteur de chaleur), ou qui s'est échauffé sous l'action du rayonnement solaire et qui renvoie cette chaleur sur le vitrage.

1.2.1.4 Description de la particularité d'une fissure d'origine thermique

Lorsqu'un vitrage est soumis uniquement à une contrainte thermique, la fissure qui se forme part perpendiculairement du bord du verre, en général à partir d'un défaut microscopique inhérent au processus de découpe du vitrage.

Dans les premiers moments de sa propagation, la fissure est elle-même perpendiculaire aux deux faces du vitrage (figure ci-contre). Par la suite, sa progression suit un cheminement plutôt tortueux.



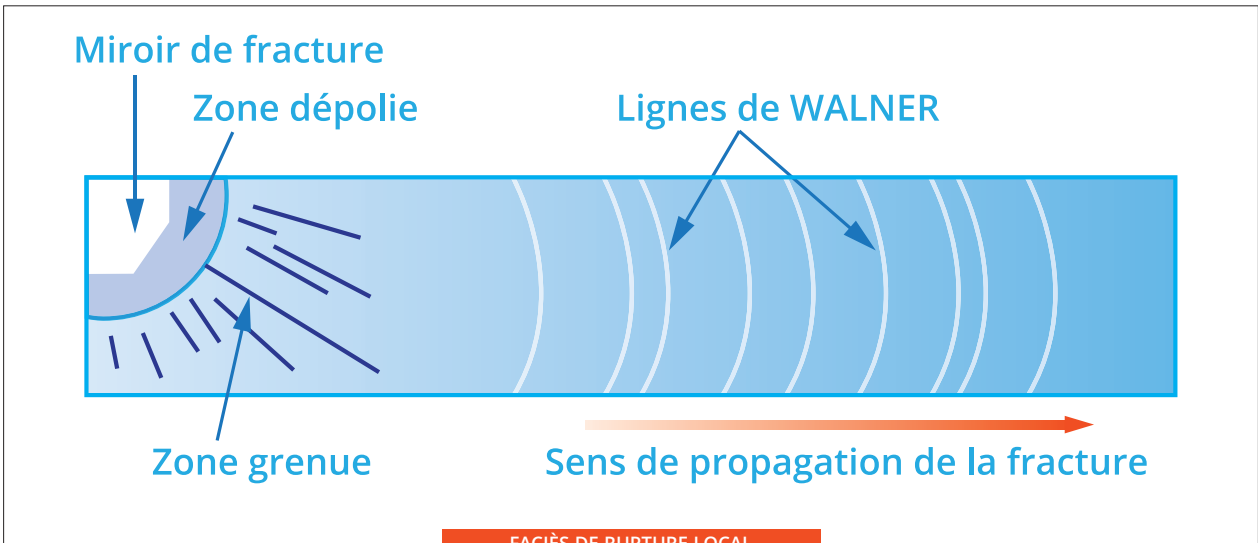
1.2.1.5 Faciès du départ de casse

Dans certains cas le vitrage peut être soumis à une superposition de plusieurs contraintes, d'origine thermique et d'origine mécanique. Ces dernières peuvent provenir d'un effort externe appliqué au vitrage, ou de tensions internes provenant d'un refroidissement mal contrôlé en fabrication. Une casse peut alors survenir sans pour autant que chacune des contraintes soit suffisante à elle seule pour provoquer cette casse.

Le faciès de rupture locale d'un verre est très caractéristique. L'examen de la fissure, à son origine, permet de distinguer :

- un miroir de fracture (zone polie et brillante),
 - le centre de ce miroir est le point de départ de la casse,
 - le rayon de ce miroir permet d'estimer le niveau de contrainte ayant provoqué la casse : plus le miroir est petit, plus la contrainte était importante ;
- une zone dépolie ;
- une zone grenue ;
- des lignes de Walner,
 - s'il n'y a pas superposition de contraintes d'origine mécanique, ces lignes sont symétriques par rapport à l'axe neutre du verre,
 - ces lignes donnent le sens de propagation de la fracture.

(1) Selon norme NF EN 1096



(Source Verre online)



(Photo : Les Experts du Verre)



(Photo : Les Experts du Verre)

1.2.1.6 Lecture d'une fissure d'origine thermique

Le départ d'une fissure d'origine thermique est monofilaire sur le premier centimètre environ. Puis, selon l'intensité de l'écart de température entre la zone froide et la zone chaude, la fissure demeure monofilaire pour un écart de température relativement faible, ou devient bifilaire pour un écart de température plus important, voire multifilaire lorsque l'écart de température devient soudainement plus élevé.

Dans ce dernier cas les fissures divergent à partir

d'un même point et elles sont assez rectilignes (cas d'exposition à une source de chaleur rayonnante à intensité élevée et proche du verre).

Lorsque l'écart thermique (ou gradient) entre deux zones est assez faible, les fissures sont assez courtes au moment de leur apparition, mais elles vont progresser par la suite, par à-coup, sous l'effet de sollicitations soit mécaniques, soit thermiques ou des deux à la fois. Les sollicitations thermiques provoquent une progression des fissures dont le cheminement est d'apparence erratique.

QUELQUES EXEMPLES DE CASSES THERMIQUES



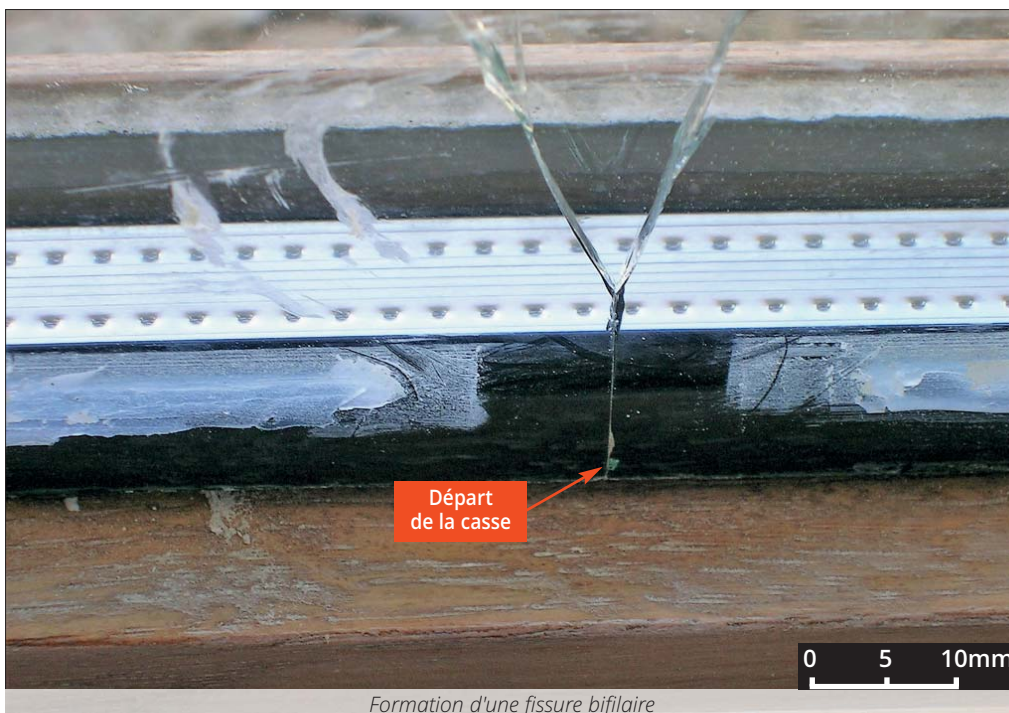
Gradient thermique de faible amplitude (fissure monofilaire)

(Photo : Les Experts du Verre)



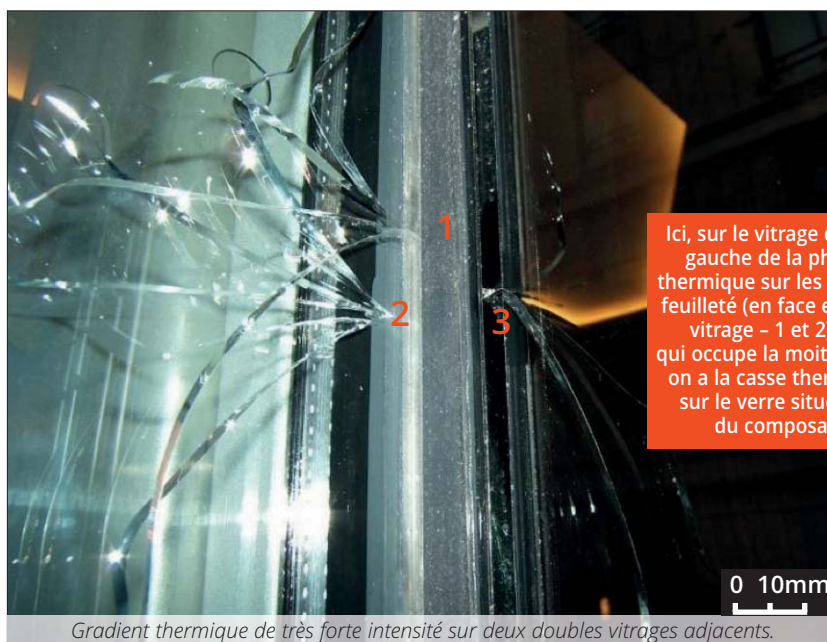
Gradient thermique de moyenne amplitude. Fissure bifilaire

(Photo : Les Experts du Verre)



Formation d'une fissure bifilaire

(Photo : Les Experts du Verre)



Ici, sur le vitrage qui occupe la moitié gauche de la photo, on a la casse thermique sur les deux verres du verre feuilleté (en face extérieure du double vitrage - 1 et 2), et sur le vitrage qui occupe la moitié droite de la photo, on a la casse thermique uniquement sur le verre situé côté lame de gaz du composant feuilleté (3).

Gradient thermique de très forte intensité sur deux doubles vitrages adjacents.

(Photo : Les Experts du Verre)



Fissure monofilaire
(noter le changement de direction brutal de la fissure)

Gradient thermique de faible amplitude

(Photo : Les Experts du Verre)

1.2.1.7 Facteurs de risque de casse thermique

Un risque de casse thermique existe dès lors qu'un verre est soumis à un échauffement différentiel (généralement dû au rayonnement solaire) ou qu'il se trouve exposé à un changement de température soudain (provenant, par exemple, d'une source de chaleur ponctuelle).

De ces considérations, il résulte que les situations entraînant un risque de rupture du verre par casse thermique sont alors celles liées :

Aux conditions climatiques

La différence de température au sein d'un vitrage dépend directement de l'intensité du rayonnement solaire qui l'atteint (en fonction de l'orientation du vitrage, du moment de la journée, de la saison, de la qualité du ciel, ...) et de la différence maximale de température entre le jour et la nuit. Il est conventionnellement admis, en France métropolitaine, par la NF DTU39-P3 que les vitrages orientés entre -60° et $+45^\circ$ par rapport au nord présentent un risque faible de casse thermique, puisqu'ils ne sont pas exposés au soleil.

Aux caractéristiques du vitrage

Plus le facteur d'absorption énergétique du verre est élevé, plus le vitrage s'échauffe sous l'effet de l'ensoleillement. Les verres absorbants, les verres à couches ou encore les verres sur lesquels un film réfléchissant est apposé s'échauffent plus que les verres classiques et sont donc davantage sujets à la casse thermique. Réciproquement les verres extra-blancs ou extra-clairs réduisent ce risque. Le risque de casse thermique est également plus élevé pour un vitrage isolant (double ou triple) que pour un simple vitrage du fait du faible transfert de chaleur au sein de la lame d'air. Des bords de verre abîmés ou écaillés (lors de la fabrication, du transport ou de la pose des volumes) constituent des points faibles à partir desquels une casse thermique peut apparaître pour des niveaux de contraintes bien inférieurs à ceux d'un verre sans défaut. De même, un verre gravé, sablé ou simplement griffé sera plus sensible à la casse thermique.

À la mise en œuvre du vitrage

- au type (feuillure, collage...) et à la qualité de pose du vitrage (calage) ;
- à l'inertie thermique du châssis : plus elle est élevée, moins la température du châssis s'adaptera rapidement aux conditions extérieures. Le gradient de température entre la partie visible du vitrage et la partie en contact avec le châssis (et par conséquent le risque de casse thermique) sera plus important.
La couleur peut également influencer quelque peu le phénomène, car les coefficients d'absorption et réflexion du châssis s'en trouvent modifiés et les types de feuillures sont répertoriés selon leur inertie : faible, moyenne et forte.

À l'environnement extérieur du bâtiment ou au bâtiment lui-même

Des bâtiments voisins ou des arbres peuvent soumettre le vitrage à un ombrage partiel et prolongé. Il en va de même lorsqu'un élément ou une partie du bâtiment lui-même crée un ombrage partiel et prolongé (terrasse surplombante, auvent, avancée ou redan, store extérieur, vitrage posé en retrait du plan de la façade...).

À l'environnement intérieur du bâtiment

La présence de stores ou de tentures, d'autocollants ou d'affiches apposés sur le vitrage, d'un plafond situé devant le vitrage ou d'autres dispositifs d'ombrage

internes peut accroître de manière importante les écarts de température entre les parties chaudes et froides d'un vitrage. Ce sera aussi le cas avec un objet sombre derrière le vitrage (meuble, canapé, montant d'un châssis coulissant, tout matériau de teinte foncée placé contre le vitrage...) car il subira un échauffement et réémettra à son tour vers le vitrage.

À la présence d'une source de chaleur proche, ponctuelle

Cette situation se rencontre lorsqu'on place à proximité d'un vitrage :

- un appareil chauffant par rayonnement infra-rouge (réglette, radiateur, chauffe-terrasse, rôtissoire...) ;
- une source lumineuse chaude de forte intensité (lampe halogène...) ;
- un système de ventilation propageant de l'air chaud ou froid vers le vitrage (cas d'un bâtiment dont le chauffage en hiver est réduit très sensiblement pendant le week-end, puis remis en route sans précaution de montée en température le lundi matin et dont les bouches de ventilation en tablette sont partiellement obstruées par des objets ou dont le flux est dévié en direction du vitrage).

NOTE 1 : les conditions évoquées dans les quatre premiers paragraphes sont normalement connues au moment de la conception de cet ouvrage et prises en compte dans le calcul de risque de casse thermique. Les conditions évoquées aux deux derniers paragraphes sont dépendantes de l'usage de l'ouvrage qu'en fait son utilisateur, lequel devrait être averti des risques alors encourus.

Cette dernière remarque a son importance, en particulier, en cas d'ajout, de retrait ou de modification de stores intérieurs ou extérieurs.

NOTE 2 : les gradients de température sont amplifiés dans le cas de doubles et triples vitrages ou lors des périodes de basse température (hiver) avec rayonnement du soleil au lever du jour et par ciel clair (facteurs aggravants).

1.2.2 La casse spontanée du verre trempé thermiquement en présence d'inclusions de sulfure de nickel

Bien que connu depuis les années 60, ce type de casse a été médiatisé ces dernières années, suite à des incidents de grande ampleur où le verre de façades, fenêtres ou de balcons d'immeubles de grande hauteur s'est brisé spontanément en causant la chute de débris de verre. Le phénomène a pu également apparaître avec des cloisons vitrées à l'intérieur de bâtiments. Bien que de tels événements surviennent rarement, le danger qu'ils représentent exige que soient examinées les conditions dans lesquelles ce phénomène peut se produire afin d'être mis sous contrôle.

Les premières identifications formelles ont été réalisées en Australie, par E. Ballantyne et décrites dans plusieurs documents publiés en fin des années 1950 et début des années 1960.

1.2.2.1 Description du phénomène – Conséquence

Ce type de casse, bien identifiable, se produit alors que le vitrage ne subit aucune sollicitation mécanique extérieure. La rupture est soudaine. Elle se produit quasi-uniquement avec le verre trempé thermiquement, conforme à la NF EN 12150, émaillé ou non. La rupture étant brutale et instantanée, elle génère une onde sonore qui s'apparente au bruit d'une explosion. Cette onde résulte de la libération des contraintes internes créées dans le verre lors de l'opération de trempé.

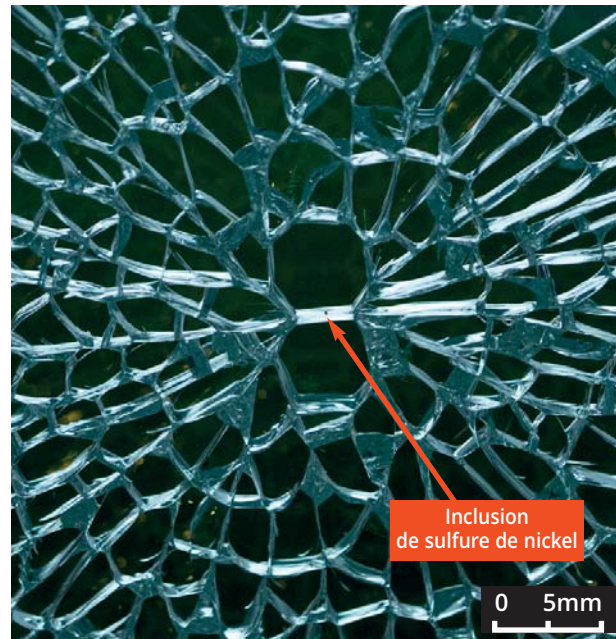
Description et forme de la casse spontanée.

Le départ de la casse se situe en un point identifiable lorsque le vitrage reste en place après rupture, par la présence de deux fragments de verre juxtaposés constituant une forme bien particulière dite "en ailes de papillon" (2 polygones reliés par une arête commune) comme on peut le voir sur le schéma et les photos qui suivent.

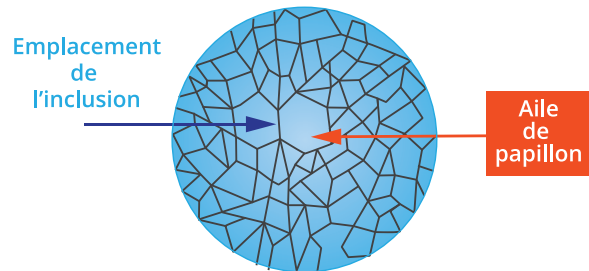
Cette forme caractéristique est nécessaire mais pas suffisante pour statuer que la casse spontanée est due à une inclusion de sulfure de nickel. L'inclusion doit être observée et analysée.

D'autres origines de casses de verre trempé thermiquement peuvent conduire à des formes similaires.

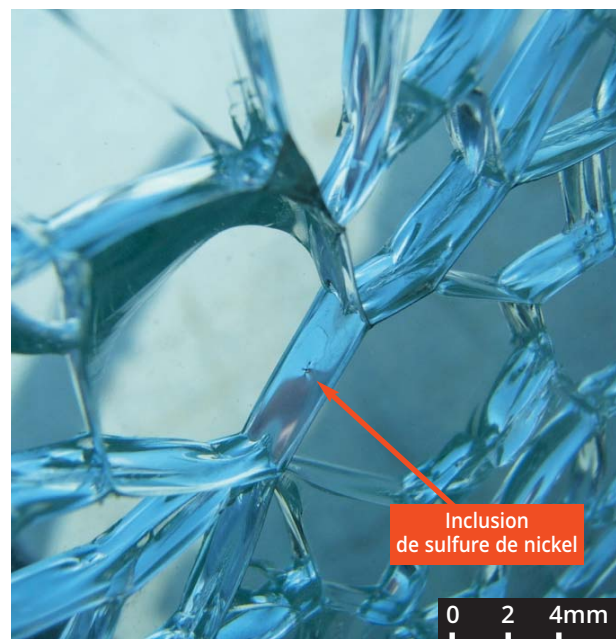
LES PHOTOS CI-DESSOUS CORRESPONDENT À DES CASSES DUES À DES INCLUSIONS DE SULFURE DE NICKEL.



(Photo : Les Experts du Verre)



(Source Verre online)



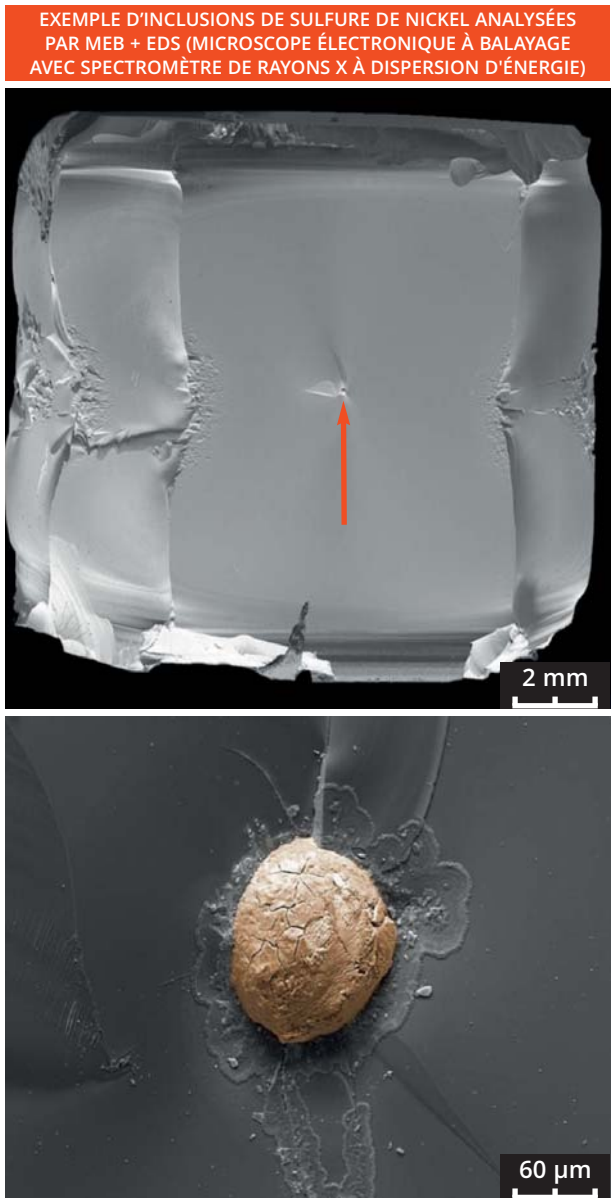
(Photo : Les Experts du Verre)

1.2.2.2 Origine des inclusions de sulfure de nickel

Ces inclusions de sulfure de nickel (NiS) se forment naturellement dans le verre fondu au cours de son élaboration dans le four de fusion. La dimension de celles que l'on retrouve à l'origine des casses est comprise entre 50 et 500 microns environ.

Depuis plusieurs dizaines d'années les producteurs de verre float ont conduit de nombreux travaux pour réduire le risque d'introduction de nickel dans le verre, sans être en mesure de l'éliminer totalement.

Peut subsister encore aujourd'hui, quoiqu'en très faible quantité, le nickel apporté par les matières premières, des éléments constitutifs des fours, certains combustibles ou par des accidents de production.



EXEMPLE D'INCLUSIONS DE SULFURE DE NICKEL ANALYSÉES PAR MEB + EDS (MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE AVEC SPECTROMÈTRE DE RAYONS X À DISPERSION D'ÉNERGIE)

(Photo : Les Experts du Verre)

La très faible taille des particules de sulfure de nickel ne permet pas leur détection lors de la production du verre.

Des travaux sont en cours en vue d'une détection possible de ces défauts sur la ligne float, mais ils n'ont pas encore démontré, à l'échelle industrielle, leur capacité de détection de ces défauts avant trempé.

En pratique la détection des inclusions de sulfure de nickel n'est possible qu'après la casse du verre à l'état trempé, que ce soit au cours du processus de traitement Heat Soak Test, ou en usage sur site.

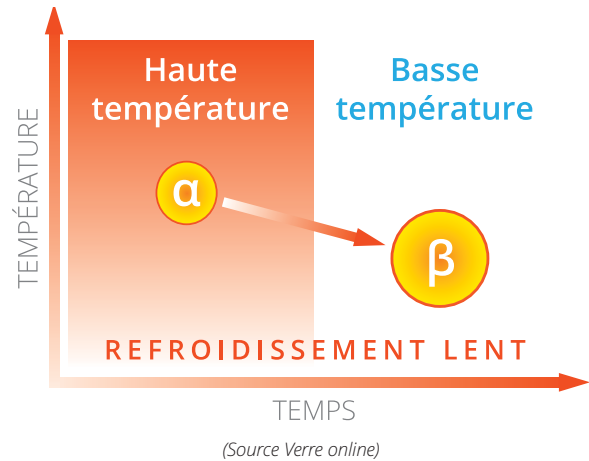
1.2.2.3 Mécanisme de la casse spontanée

Comportement du sulfure de nickel(NiS) selon la température

Les molécules de sulfure de nickel ont une structure cristallographique qui se modifie avec la température.

Cette structure passe d'un état dit "β" à température ambiante à un état dit "α" à haute température, en diminuant de volume. Elle retrouve son volume initial en revenant à la température ambiante.

Lors de la production du verre, les inclusions présentes ont le temps de faire leur transformation de phase, car le refroidissement du verre est lent.

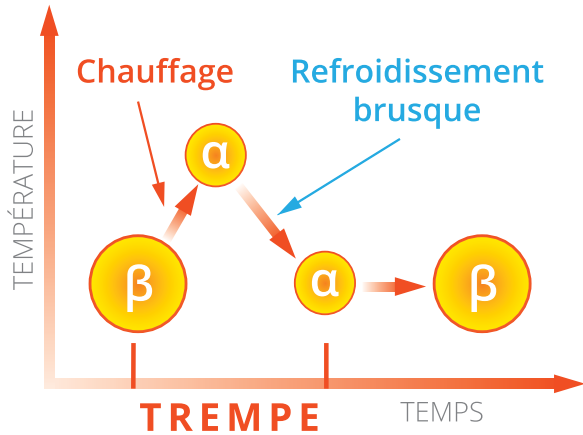


Pourquoi seul le verre trempé casse spontanément ?

Lors de l'opération de trempé, le verre est échauffé relativement lentement jusqu'à son point de ramollissement (environ 600-650°C). Puis il est refroidi quasi-instantanément à 80°C environ.

Dès lors, l'inclusion de NiS, qui a eu le temps de se transformer en sa phase "α" lors du réchauffement du verre, en diminuant de volume, n'a pas le temps, lors du refroidissement brusque, de revenir à son état

stable dans sa phase "β". Cependant, elle y parviendra inexorablement avec le temps et à la faveur de la température que prend le verre au quotidien, et cela en augmentant de volume.



(Source Verre online)

Si l'inclusion se trouve dans la zone du verre que l'opération de trempe a mise en extension, alors son augmentation de volume va accroître encore plus la contrainte locale d'extension, laquelle est maximale à mi-épaisseur du verre, ce qui amènera le verre à dépasser sa contrainte limite de résistance et provoquera sa rupture.

Au contraire, dans le cas du verre dit « recuit » le refroidissement est lent et continu. La phase de grossissement de l'inclusion de sulfure de nickel se produit avant que le verre n'ait acquis toute sa rigidité. Il peut donc encore se déformer au cours de cette transformation sans création d'une contrainte locale néfaste.

1.2.2.4 Fréquence des casses spontanées dues à des inclusions de sulfure de nickel

Pour un lot de vitrages trempés thermiquement, le nombre de vitrages touchés ainsi que la répartition dans le temps des différentes casses est fonction de nombreux paramètres et on ne sait prédire ni le nombre de casses, ni le moment où elles surviendront, ni l'étendue de la période des casses.

On observe que, pour un chantier soumis à casses par inclusions de sulfure de nickel, les premières se produisent au bout de plusieurs mois, voire plus d'une année. La fréquence des casses s'accélère ensuite notablement, puis va décroître et aboutir progressivement à un quasi-arrêt. On peut alors penser, mais sans certitude, que les inclusions potentiellement dangereuses ont fini d'augmenter de volume et que la situation est stabilisée.

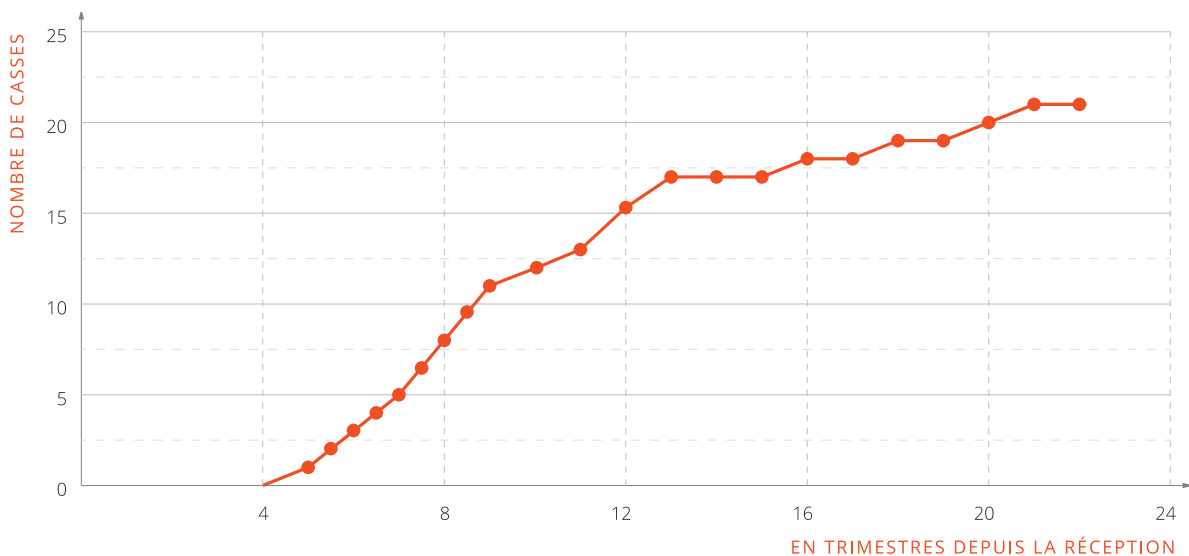
On note que la température ambiante des lieux où sont installés les vitrages et leur exposition à l'ensoleillement direct joue sur le délai d'apparition des premières casses (qui diminue) et la vitesse de développement du phénomène (qui augmente).

Une approche "statistique" de l'évolution du nombre de casses spontanées dans le temps de verres trempés thermiquement après mise en œuvre peut permettre de formuler des hypothèses, mais elles restent incertaines. La durée réelle n'est pas prédictible dans l'absolu.

Ci-dessous un exemple qui montre un profil de courbe type avec une forme caractéristique en S.

NOMBRE DE CASSES SPONTANÉES EN PRÉSENCE D'INCLUSION DE NIS DEPUIS LA RÉCEPTION

(Source : Les Experts du Verre)



2. RÈGLES DE L'ART ET ASSURABILITÉ

Le référentiel cité ci-dessous impose, dans chaque cas, la lecture de la dernière version en vigueur. Le respect du référentiel assure une maîtrise du risque et permet une baisse notable de la sinistralité.

2.1 Les Règles de l'art

2.1.1 Normes

Date de validité : l'ensemble des normes ci-dessous sont dans leur version applicable

Liste des principaux textes des règles de l'art utilisés dans la conception et la pose des vitrages

2.1.1.1 Normes et documents français

- NF DTU 39 - Travaux de vitrerie-miroiterie ;
- NF DTU 39-P3 - Mémento calculs des contraintes thermiques ;
- FD DTU 39-P5 - Mémento pour les maîtres d'œuvre ;
- NF DTU 35-1 - Cloisons ;
- NF DTU 33-1 - Façades rideaux.

2.1.1.2 Normes européennes de produits

- NF EN 572-1 à 9. Verre dans la construction - Produits de base : verre de silicate sodo-calcique ;
- NF EN 572-2. Verre dans la construction - Produits de base : verre de silicate sodo-calcique - Partie 2 : glace ;
- NF EN 12150-1. Verre dans la construction - Verre de silicate sodo-calcique de sécurité trempé thermiquement - Partie 1 : définition et description ;
- NF EN 14179-1. Verre dans la construction - Verre de silicate sodo-calcique de sécurité trempé et traité Heat Soak - Partie 1 : définition et description ;
- NF EN 14449 - Verre dans la construction - Verre feuilleté et verre feuilleté de sécurité ;
- NF EN 1279 – Verre dans la construction - Vitrage isolant ;
- NF EN 1096 – Verre dans la construction - Verre à couche.

2.1.1.3 Règles professionnelles

- Conception et mise en œuvre des installations en verre trempé, novembre 2004 ;
- Règles de conception, de mise en œuvre et de collage des stabilisateurs en verre sur chantier, novembre 2009.

2.2 L'assurabilité

2.2.1 Responsabilité et garanties

Les travaux de vitrerie miroiterie sont susceptibles de mobiliser la garantie décennale des constructeurs aussi bien en neuf qu'en rénovation. En effet, les remplissages en volumes vitrés contribuent au clos et au couvert ainsi qu'à la sécurité des personnes quand ils ont une fonction de garde-corps. Quand les désordres du verre affectent la solidité de l'ouvrage ou contribuent à le rendre impropre à sa destination selon l'article 1792 du Code Civil, cette garantie décennale est engagée. Il faut avoir présent à l'esprit le fait que la responsabilité du locateur d'ouvrage est engagée à priori et qu'en cas de suspicion de cause extérieure qui pourrait l'exonérer, c'est à lui d'en apporter la preuve.

Dans le cas de la casse spontanée, la responsabilité du constructeur sera systématiquement retenue puisqu'il est possible de considérer qu'il s'agit d'un vice caché du matériau verre, cas pour lequel la responsabilité à priori peut être invoquée. Bien sûr, il peut être envisagé d'engager une démarche pour exercer un recours à l'encontre du fournisseur du verre, mais cela ne remettra pas en cause la responsabilité du locateur d'ouvrage vis-à-vis du maître d'ouvrage. Ce qui est en revanche à avoir à l'esprit, c'est l'ampleur du sinistre. C'est-à-dire de pouvoir se prononcer sur son aspect isolé ou généralisé. Généralement, il ne peut y avoir application de la garantie décennale que s'il y a dommage mais, dans le cas de la sécurité, la non-conformité voire la suspicion de non-conformité, vaut dommage. Aussi, quand le verre trempé est utilisé dans l'ouvrage avec une fonction de garde-corps ou s'il existe un problème de sécurité des personnes lié à la chute en masse des fragments du vitrage trempé à la suite du bris de celui-ci, il se pose inévitablement la question de la généralisation du désordre.

Le principe de précaution aura tendance à faire basculer la décision vers le désordre généralisé faute d'éléments probants factuels justifiant le caractère isolé des dommages. La responsabilité pourra au mieux être partagée s'il peut être mis en avant une inadéquation de la prescription des ouvrages avec une inadéquation du type de vitrage avec l'usage attendu.

Dans le cas de la casse thermique, la responsabilité de l'entreprise sera engagée du fait de la responsabilité a priori du locateur d'ouvrage mais, le défaut d'usage par le maître d'ouvrage ou l'utilisateur pourra être invoqué comme élément exonérateur. Il convient alors que le locateur d'ouvrage, l'entreprise, étaye et argumente de façon formalisée et circonstanciée cette réclamation avant de la laisser à l'appréciation des experts ou des juges, le cas échéant. Là encore, la question de la généralisation peut se poser et il convient de caractériser le désordre afin de pouvoir se prononcer objectivement sur cette question. Il faut aussi garder à l'esprit que si l'usage peut être invoqué comme cause à la survenance des désordres, alors il peut être mis en avant le défaut de conseil, le maître d'ouvrage restant, quoi qu'il en soit, un non-sachant.

2.2.2 Bonnes pratiques

La traçabilité et la justification théorique de l'adéquation des produits verriers à l'usage attendu sont impératives pour pouvoir, lorsqu'il est survenu, caractériser et quantifier un sinistre de casse spontanée ou de casse thermique. Seuls les éléments factuels pourront permettre aux experts de se prononcer objectivement sur l'ampleur et la nature des solutions réparatoires à envisager et contribuer à limiter la surenchère induite par l'incertitude.

⁽¹⁾ Ces ouvrages sont définis par des critères de hauteur, de portée ou de capacité précisés dans les conditions générales des contrats d'assurance.

⁽²⁾ Les règles professionnelles acceptées par la C2P (Commission prévention produits mis en œuvre par l'Agence qualité construction) sont listées à l'annexe 2 de la publication semestrielle de la C2P et sont consultables sur le site de l'Agence qualité construction (<https://qualiteconstruction.com>).

⁽³⁾ Les recommandations professionnelles RAGE 2012 (Règles de l'art Grenelle environnement 2012) sont consultables sur le site internet du programme RAGE (www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr) et les communiqués de la C2P sont accessibles sur le site de l'AQC (<https://qualiteconstruction.com>).

⁽⁴⁾ Les communiqués de la C2P sont accessibles sur le site de l'AQC (<https://qualiteconstruction.com>).

TECHNIQUE COURANTE ET TECHNIQUE NON COURANTE

Les assureurs construction opèrent une distinction entre les "travaux de technique courante", normalement garantis par les contrats et les « travaux de technique non courante » (TNC) qui nécessitent une déclaration préalable. La notion de technique courante et de technique non courante est une notion contractuelle des assureurs. Chaque assureur peut donc la définir à sa guise.

Cependant, il faut noter qu'il y a une vision consensuelle du sujet par les assureurs et que, sauf dispositions contraires aux Conditions particulières des contrats, les garanties s'appliqueront généralement pour autant que les travaux ne portent pas sur des ouvrages exceptionnels ou inusuels⁽¹⁾ et que les produits et procédés utilisés répondent à la définition de technique courante ci-dessous :

- Travaux de construction répondant à une norme homologuée (NF DTU ou NF EN), à des règles professionnelles acceptées par la C2P⁽²⁾ ou à des recommandations professionnelles du programme RAGE 2012 non mises en observation par la C2P⁽³⁾ ;
- Procédés ou produits faisant l'objet au jour de la passation du marché :
 - d'un agrément technique européen (ATE) en cours de validité ou d'une évaluation technique européenne (ETE) bénéficiant d'un document technique d'application (DTA), ou d'un avis technique (ATec), valides et non mis en observation par la C2P⁽⁴⁾,
 - d'une appréciation technique d'expérimentation (ATEX) avec avis favorable,
 - d'un Pass innovation « vert » en cours de validité.

Tout ce qui ne rentre pas dans la définition de technique courante est de la technique non courante. Le référentiel principal est la NF DTU 39 mais il ne faut pas oublier les Règles Professionnelles, « conception et mise en œuvre des installations en verre trempé » (novembre 2004, FFPV), Règles de conception, de mise en œuvre et de collage des stabilisateurs en verre sur chantier » (novembre 2009, FFPV).

3. LES ACTIONS DE PRÉVENTION

3.1 La casse thermique

Les dispositions suivantes peuvent être mises en œuvre pour prévenir les risques de casse thermique :

3.1.1 Calcul prévisionnel de risque

Une méthode d'évaluation des risques de casse thermique est exposée dans la norme homologuée NF DTU 39-P3. Les calculs sont établis en prenant en considération :

- les conditions climatiques du site (flux solaire, écart journalier de température, vent, orientation des façades, saison, altitude, etc.) ;
- la nature et de la constitution des vitrages (nombre de composants et leurs caractéristiques énergétiques, valeur du coefficient U_g) ;
- la nature et l'environnement des feuillures (inertie thermique) ;
- la nature des parois au voisinage du vitrage ;
- la présence de store ou de la proximité d'un corps de chauffe.

Divers logiciels de calculs existent. Les résultats qu'ils donnent dépendent autant de la pertinence des données qui ont été introduites dans le calcul que de l'architecture de ces calculs. Il n'y a pas de certification de ces logiciels, et les notes de calculs sont donc établies sous la seule responsabilité de leurs auteurs. Lorsque les écarts de température calculés dépassent les écarts admissibles les verres doivent alors subir un traitement adapté qui peut être soit un façonnage spécifique des bords, soit un traitement de durcissement ou de trempé.

NOTE 3 : les vitrages avec trou(s) et/ou encoche(s) ne sont pas traités dans la NF DTU 39-P3.

NOTE 4 : la NF DTU39-P3 donne, pour des cas courants, dans des configurations types, les valeurs de coefficients d'absorption énergétique à ne pas dépasser, sans devoir faire de calculs.

NOTE 5 : lorsque certaines données essentielles ne sont pas spécifiées, l'entreprise de vitrerie-miroiterie formule son offre sur la base des hypothèses données dans la NF DTU 39-P2, et en ne prenant pas en compte le risque de choc thermique.

3.1.2 Dispositions constructives

La casse thermique résultant d'un conflit de températures entre deux parties d'un même vitrage, il est alors nécessaire, pour tout vitrage exposé au rayonnement solaire, de calculer les températures auxquelles il se trouvera en œuvre.

Si l'écart de température calculé dépasse la limite admissible définie par les règles de calcul pour un vitrage donné, il y aura lieu :

- soit de vérifier qu'un façonnage des bords suffit pour rendre acceptable l'écart de température calculé ;
- soit de modifier la constitution et/ou la composition du vitrage ;
- soit de modifier les conditions d'exposition au rayonnement solaire auquel il se trouve soumis.

NOTE 6 : en présence d'une composition ne faisant appel qu'à des vitrages trempés au sens de la norme NF EN 12150 ou NF EN 14179, alors le risque de casse thermique est nul pour les températures habituellement rencontrées dans les bâtiments, c'est-à-dire ne dépassant pas 120°C environ.

3.1.3 Les bonnes pratiques

Pour éviter que des bris de vitrage par choc thermique ne se produisent, il faut apporter une attention particulière à l'environnement immédiat de ces vitrages et aux conditions de leur installation dans les façades et châssis.

En particulier, sauf pour les vitrages verticaux orientés vers le nord (grosso modo du nord-est au nord-ouest) il convient de :

- ménager un espace d'au moins 5 cm, ventilé naturellement, entre le verre et un rideau ou un store ;
- ne pas utiliser d'appareils chauffant par rayonnement directement ou en regard d'un vitrage ;
- ne pas utiliser d'appareils chauffant par convection ou par ventilation à moins de 20 cm d'un vitrage ;
- ne pas disposer un objet massif, de couleur foncée ou sombre à moins de 20 cm d'un vitrage ;
- ne rien apposer sur le vitrage ;

- éviter l'ombrage partiel du vitrage vis-à-vis du soleil. En présence d'une composition verrière à performance thermique d'isolation, vérifier, en accord avec la NF DTU 39-P3, les températures que les verres de cette composition sont susceptibles d'atteindre et, selon le résultat du calcul, décider si un façonnage spécifique des bords est nécessaire ou si l'un ou plusieurs des verres devra être durci ou trempé.

En cas de bris d'un verre, déterminer avec exactitude la cause de ce bris avant de procéder à son remplacement.

3.2 La casse spontanée de verre trempé thermiquement en présence d'inclusion de sulfure de nickel

La formation d'inclusions de sulfure de nickel dans le verre est inévitable dans l'état actuel de la technique, et les fabricants de verre n'ont pas la possibilité de les détecter et, donc, de les éliminer.

Le verre trempé et le verre trempé HST sont tous deux des vitrages de sécurité : leur comportement lors de la rupture est identique. Si on exclut la présence de NiS, les probabilités de rupture d'un verre trempé et d'un verre trempé HST sont identiques.

Sauf mises en œuvre des dispositions constructives décrites dans le § suivant 3.2.1, si une casse se produit il demeure un risque élevé de blessures pour les personnes présentes ou passant à proximité, par la chute possible de fragments qui seraient encore groupés en plaques.

Ces risques sont particulièrement marqués avec des verres émaillés ou laqués, ou encore revêtus de films autocollants. La photo ci-après, prise d'au-dessus de l'allège, montre cette allège en verre trempé émaillé dont se sont détachées depuis l'étage R+3 des plaques non désagrégées pesant plusieurs centaines de grammes. Même si le verre est fragmenté et présente en principe moins de risque de coupures, le risque lié à l'impact est en revanche bien présent.

Dans d'autres configurations, avec des verres monolithiques d'épaisseur 10 mm, cette plaque de particules encore agrégées peut atteindre un poids de plusieurs kilogrammes.



(Photo : Les Experts du Verre)

3.2.1 Dispositions constructives et bonnes pratiques

Il appartient au maître d'ouvrage et son délégué et/ou au maître d'œuvre de s'assurer de l'adéquation du produit prévu avec les exigences propres à l'ouvrage.

3.2.1.1 Dans le cas de verre sans traitement HST

En fonction de chaque situation particulière, il convient de considérer des solutions avec d'autres composants verriers telles que :

- assemblage en verre feuilleté, capable de retenir les fragments cassés et de conserver quelque temps une certaine rigidité après casse, le temps de procéder à la mise en sécurité et/ou au remplacement des vitrages⁽¹⁾;
- mise en place d'un dispositif permettant de retenir ou au moins désagréger et collecter les morceaux restant agglomérés après la casse afin d'éviter d'atteindre des personnes (i.e. casquette, grille) ;

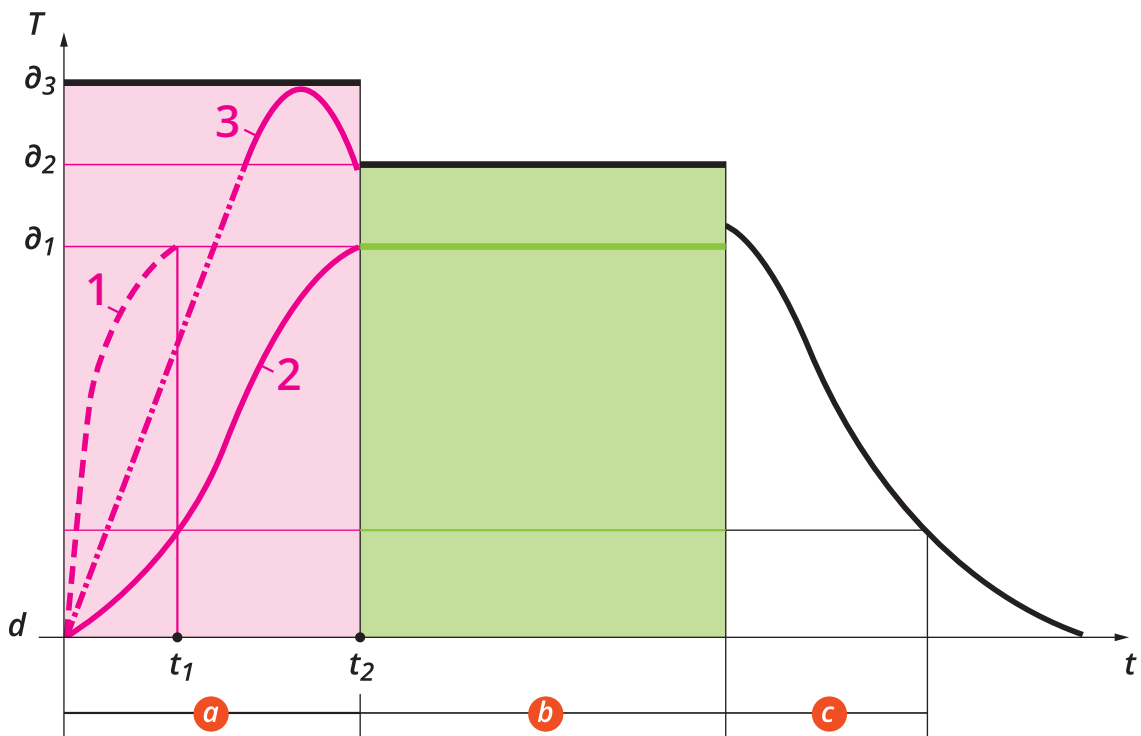
- association, lorsque l'épaisseur des composants le permet, dans le feuilleté de deux verres durcis ou d'un verre trempé pour une face et durci pour l'autre, ce qui permettrait d'augmenter la rigidité résiduelle du vitrage feuilleté et la durée de son maintien en sécurité après casse⁽²⁾.

3.2.1.2 Dans le cas de verre avec traitement HST⁽³⁾

Comment se prémunir des casses dues aux inclusions de sulfure de nickel (NiS) dans les verres trempés thermiquement : le Traitement HEAT SOAK TEST ou HST⁽⁴⁾ selon la norme NF EN 14179.

Les verriers face à ce problème après de longs travaux ont mis au point un traitement qui a fait l'objet d'une norme européenne NF EN 14179 parties 1 et 2 : Verre de silicate sodo-calcique trempé de sécurité et traité Heat Soak.

Afin d'accélérer le phénomène de changement de phase α instable en phase β stable, le traitement HST consiste à réchauffer les verres trempés thermique-



T	Température du verre en tout point °C	3	Température du verre
t	Temps, h		
t ₁	Temps pour le premier verre à atteindre ∂_1 °C	a	Phase d'échauffement
t ₂	Temps pour le dernier verre à atteindre ∂_1 °C	b	Phase de maintien de la température
1	Premier verre à atteindre ∂_1 °C	c	Phase de refroidissement
2	Dernier verre à atteindre ∂_1 °C	d	Température ambiante
∂_1	Température au-dessus de laquelle tout vitrage doit se trouver pendant la phase de maintien en température		
∂_2	Température au-dessous de laquelle tout vitrage doit se trouver pendant la phase de maintien en température		
∂_3	Température que ne doit jamais dépasser un vitrage pendant la phase de maintien en température		

ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES EN COURS DE TRAITEMENT DES VITRAGES DANS LE FOUR HST

ment suivant un programme bien défini en termes de montée en température, de maintien en température et de refroidissement illustré dans le croquis ci-après. Pendant la durée du palier la température de surface du verre doit être maintenue entre 2 valeurs fixées par la norme NF EN 14179.

Dans la norme, il est indiqué que si ce traitement est réellement et correctement effectué, le risque de casse résiduelle est de 1 casse pour 400 tonnes de verre trempé (d'un même lot de production). Pour fixer les idées, cela correspond à une casse pour 20 000 m² de verre en 8 mm d'épaisseur.

Des études scientifiques récentes⁽⁵⁾ ont établi que la fréquence de casse résiduelle est très largement inférieure et qu'elle peut être inférieure à 1 casse pour 10 000 tonnes de verre traitées HST soit 500 000 m² en 8 mm d'épaisseur.

Cependant ce faible taux de risque de casse spontanée par la présence d'inclusion de sulfure de nickel suppose que les industriels transformateurs respectent rigoureusement le protocole de la norme NF EN 14179 parties 1 et 2.

Une tierce partie indépendante peut assurer que les exigences de la norme NF EN 14179 parties 1 et 2 sont respectées par le fabricant, ce qui inclut, en particulier, les certificats d'étalonnage, les rapports de calibration des fours et les enregistrements des températures lors du traitement HST.

Quand le traitement Heat Soak est correctement réalisé, les études qui ont été menées en laboratoire sur les productions industrielles de verre indiquent un niveau de casse toujours très inférieur à une casse pour 4 000 tonnes de verre⁽⁶⁾ ce qui correspond à 200 000 m² de verre d'épaisseur 8 mm.

3.2.2 En conclusion

La formation d'inclusions de sulfure de nickel dans le verre est inévitable dans l'état actuel de la technique, et les fabricants de verre n'ont pas la possibilité de les détecter et donc de les éliminer totalement.

Les fabricants de verre float, n'ont, de surcroît, connaissance ni des transformations ultérieures, ni de l'utilisation finale des produits livrés.

L'élimination des inclusions de sulfure de nickel n'est possible qu'à l'issue de la trempe thermique du verre, en la faisant suivre du traitement HST.

Les professionnels du bâtiment disposent ainsi d'un moyen efficace pour se prémunir des risques de casse spontanée par NiS, si le traitement décrit dans la norme NF EN 14179 est effectivement et correctement réalisé sur les verres trempés thermiquement.

3.2.3 Que faire si, pour une réalisation en verre trempé, une première casse se manifeste ?

Si, lors de cette première casse, la présence d'inclusion de NiS est mise en évidence ou en cas de présomption de cette présence, il y a lieu d'apprécier le risque qui résulterait de la casse d'un second vitrage. Si ce risque apparaît comme pouvant mettre en cause la sécurité des personnes, il y aura alors lieu de prendre toutes dispositions de mise en sécurité sans délai afin d'éviter qu'en cas de rupture d'un autre verre du même lot de fourniture, celui-ci ne puisse blesser des personnes.

Dans le verre trempé thermiquement monolithique, cette prévention est plus particulièrement impérative et sa mise œuvre est urgente pour des vitrages de grandes dimensions, de forte épaisseur et/ou installés en hauteur à l'aplomb de zones de stationnement et de circulation. Dans le cas de verre trempé thermiquement assemblé en verre feuilleté, les particules sont maintenues en place le temps nécessaire pour mettre l'ouvrage en sécurité.

⁽¹⁾ En particulier, en employant un intercalaire un peu plus rigide.

⁽²⁾ Toutefois, l'association verre trempé-verre durci nécessite un très grand soin de réalisation vis-à-vis de l'aspect et des phénomènes de délamination.

⁽³⁾ La réalisation de ce traitement préventif entraîne des délais de réalisation plus longs à considérer dans les plannings de commande.

⁽⁴⁾ HST (Heat Soak Test). Précision : le terme anglais test utilisé ici correspond en fait à un traitement permettant d'éliminer les vitrages contenant des inclusions de NiS et non à un essai permettant de vérifier des performances. HST pourrait être traduit en français par « Epreuve thermique du verre trempé ».

⁽⁵⁾ Andreas Kasper (2018). Spontaneous cracking of thermally toughened safety glass part three: statistic evaluation of field breakage records and consequences for residual breakage probability. *Glass Struct. Eng.* (2019) 4:345–376. <https://doi.org/10.1007/s40940-018-00093-z>. 32 pages.

⁽⁶⁾ Sur la base des études et retours d'expérience établis par les auteurs cités en "RÉFÉRENCES".

4. GLOSSAIRE/DÉFINITION DE DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE

Glace suivant la NF EN 572-1 dite verre recuit

Elle est à la base des produits transformés décrits ci-après :

Verre de silicate sodocalcique plan transparent clair ou coloré, à faces parallèles et polies, obtenu par coulée continue et flottage sur un bain de métal.

NOTE : la glace s'appelle float glass en anglais et Floatglas en allemand.

Verre recuit

Au sortir du formage (sur le bain d'étain de la ligne float), d'importantes hétérogénéités de température s'établissent dans le verre et qui développeraient des tensions internes inacceptables.

La recuisson est un refroidissement lent et contrôlé, qui permet d'homogénéiser ces tensions et les amener à un niveau acceptable, permettant ainsi une découpe facile du verre. Le verre issu de ce processus est le verre recuit.

Verre de silicate sodocalcique de sécurité trempé thermiquement suivant la NF EN 12150

Verre soumis à une contrainte superficielle permanente en compression, en plus de la résistance mécanique de base, induite par un procédé de chauffage et de refroidissement contrôlé afin de lui donner une résistance accrue aux contraintes mécaniques et thermiques et des caractéristiques de fragmentation prescrites. Les propriétés mécaniques, c'est-à-dire la durabilité thermique et la résistance mécanique, ainsi que les propriétés de sécurité, c'est-à-dire les caractéristiques de fragmentation, sont générées par le niveau de compression superficielle. Ces propriétés ne dépendent pas des dimensions. Ce verre, par la très petite dimension de ses fragments, est de sécurité.

Verre de silicate sodocalcique de sécurité trempé thermiquement et traité Heat Soak suivant la NF EN 14179

Il s'agit d'un verre trempé thermiquement qui présente un niveau connu de risque résiduel de rupture spontanée due à la présence d'inclusions critiques de sulfure de nickel (NiS). Le traitement Heat Soak test est dénommé couramment par l'abréviation HST.

Verre de silicate sodocalcique thermodurci suivant la NF EN 1863

Vitrage qui a subi un traitement thermique particulier lui conférant une résistance aux contraintes mécaniques et thermiques supérieure à celle du verre recuit classique. Sa fragmentation se fait en éclats de grandes dimensions. Ces vitrages ne sont pas considérés comme des vitrages de sécurité.

Verre feuilleté et verre feuilleté de sécurité suivant la NF EN 14449

Verre feuilleté suivant la EN ISO 12543

Verre résultant de l'assemblage d'une feuille de verre avec une ou plusieurs autres feuilles de verre et/ou feuilles de verre organique à l'aide d'un ou de plusieurs intercalaires.

Verre feuilleté de sécurité suivant la EN ISO 12543

Verre feuilleté classé conformément à la norme EN 12600 sur les chocs de corps mou et dans lequel, en cas de bris, l'intercalaire sert à retenir les fragments de verre, limite la taille de l'ouverture, offre une résistance résiduelle et réduit le risque de blessures dues à des coupures ou à des percages.

Vitrage isolant suivant la NF EN 1279

Assemblage constitué de deux vitrages au minimum, séparés par un ou plusieurs espaceurs, scellés de manière étanche le long de la périphérie, mécaniquement stable et durable.

Verre à couche suivant la NF EN 1096

Verre sur lequel est déposé une couche pour modifier une ou plusieurs de ses caractéristiques.

Les domaines d'application de ces produits verriers, leurs fonctions et leurs conditions d'utilisation sont donnés dans les normes et recommandations professionnelles correspondantes ainsi que dans les documentations des fabricants de produits de base et des transformateurs.

5. RÉFÉRENCES

Cinq documents en langue anglaise :

- 1** Andreas Kasper (2018)
Spontaneous cracking of thermally toughened safety glass. Part one: Properties of nickel sulphide inclusions. *Glass Struct. Eng.* <https://doi.org/10.1007/s40940-018-0083-8>. 35 pages.
- 2** Andreas Kasper (2018)
Spontaneous cracking of thermally toughened safety glass - Part two: Nickel sulphide inclusions identified in annealed glass. *Glass Struct. Eng.* (2019) 4:315–343. <https://doi.org/10.1007/s40940-018-00092-0>. 29 pages.
- 3** Andreas Kasper (2018)
Spontaneous cracking of thermally toughened safety glass part three: statistic evaluation of field breakage records and consequences for residual breakage probability. *Glass Struct. Eng.* (2019) 4:345–376. <https://doi.org/10.1007/s40940-018-00093-z>. 32 pages.
- 4** Stefan Karlsson (Mai 2017)
Spontaneous fracture in thermally strengthened glass – a review and outlook. *Ceramics – Silikáty* 61 (3) 188-201 (2017). 15 pages.
- 5** Kathryn Gromowski, BAE/MAE, Penn State, 2010
Glass Breakage - Nickel Sulfide Inclusions.

Un document en langue française

- 6** Oussama YOUSFI (4 juin 2009)
Thèse de doctorat. *Transformations de phase des Sulfures de Nickel dans les verres trempés.* 159 pages.

DANS LA MÊME COLLECTION

Retrouvez nos publications sur :

<https://qualiteconstruction.com/nos-ressources/>



FOCUS : PATHOLOGIE DES SOLS CARRELÉS

Commandité par l'AQC et réalisé par Eurisk, ce focus fait un point sur une pathologie récurrente depuis de nombreuses années. Il présente les règles de l'art et les principales causes techniques des désordres.



FOCUS : ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR

Commandé par l'AQC et réalisé par Socabat, ce focus identifie et analyse techniquement les principaux désordres, illustrés par de nombreux schémas et photos. Il fait part également des bonnes pratiques à mettre en œuvre.

