

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Caractéristiques du verre à vitres

Garden, G. K.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40001093>

Digeste de la construction au Canada, 1967-09

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=fe22fdce-823c-4ab8-9844-cd051edc6e01>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=fe22fdce-823c-4ab8-9844-cd051edc6e01>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

CBD 60F

Caractéristiques du verre à vitres

Publié à l'origine en septembre 1967

G.K. Garden

Veillez noter

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

Bien qu'il fût déjà connu antérieurement au 2^e millénaire avant l'ère chrétienne, le verre a été très peu employé comme matériau constitutif des fenêtres avant la période de domination romaine. Aux alentours du X^e siècle, l'Europe du Nord, probablement incitée par les rigueurs climatiques, produisait une quantité assez importante de verre à vitres. Grâce aux techniques modernes d'utilisation du verre, ce matériau est maintenant largement utilisé en construction, comme vitre et comme parement, sans compter mille autres utilisations.

Le verre est utilisé comme matériau des fenêtres en raison de sa transparence à la lumière et parce qu'il n'obstrue pas le champ de vision, et qu'en même temps il répond aux exigences auxquelles doivent satisfaire les éléments de construction externes d'un mur. En outre, il est durable dans la plupart des milieux physiques, disponible sans difficulté à un prix relativement faible, et il possède la résistance nécessaire quand il est utilisé de façon adéquate.

Le verre est fondamentalement un produit de fusion de la silice. La fusion de la silice pure est toutefois difficile à réaliser, et on ajoute généralement un fondant pour faciliter l'action de la chaleur. On peut également ajouter d'autres oxydes pour surmonter la difficulté, bien que la durabilité du produit en souffre. Le verre utilisé pour la plupart des vitres est le moins coûteux à fabriquer et à manipuler; on le qualifie de *verre calcosodique*, car la soude et la chaux sont les éléments prédominants qu'on combine avec la silice pour sa fabrication. On peut introduire d'autres oxydes en diverses proportions dans le bain pour modifier le nombre des propriétés du produit fini. Le verre coulé est nommé selon son procédé de fabrication: verre à vitres, glace polie, verre flotté ou laminé.

Le *verre à vitres* est fait en tirant la feuille de verre verticalement de la masse liquide. La feuille de verre ainsi formée est ensuite polie au feu puis soumise au recuit. La méthode d'étirage produit des martelages et des déformations superficielles qui varient au cours du processus. On procède à un choix des feuilles et on les classe sous les rubriques AA, A, B, ou verre jardinier uniquement suivant les qualités optiques de la feuille. La catégorie "A" est la meilleure qualité de vitre utilisée normalement en vitrerie commerciale mais la catégorie "B" est très suffisante pour la plupart des besoins en vitres des fenêtres.

La *glace polie* est produite par laminage d'une lame de verre continue ou par coulage et laminage de grandes feuilles séparées. Après recuit et refroidissement, les faces de la feuille sont aplanies, rendues parallèles et avivées par un meulage mécanique et un polissage. Le verre laminé est disponible en trois qualités déterminées, fondées elles aussi sur les propriétés optiques de la feuille de verre. Le vitrage à vitrer est utilisé normalement pour les fenêtres; le vitrage à glace est utilisé pour la vitrerie de haute qualité et les miroirs; le vitrage à argenter est utilisé pour les miroirs de haute qualité et certaines catégories très spéciales de vitres.

Dans le procédé "*verre flotte*" le verre fondu surnage à la surface parfaitement plane d'un bain de métal fondu et il s'y étend sur une épaisseur régulière. Quand la feuille est tirée, les deux faces sont parfaitement planes et parallèles, polies au feu et suffisamment refroidies pour ne subir aucun dommage de la part des rouleaux qui les supportent au cours des opérations suivantes. Ce verre possède à la fois la qualité optique de la glace polie et les propriétés de surface du verre à vitres.

Le *verre laminé* englobe les ébauches de verre imprimé, de verre ondulé, de glace polie et le verre armé. Au fur et à mesure que la lame de verre est tirée de la cuve, des rouleaux à impressions, à grains, ou unis, donnent l'apparence désirée à une face ou aux deux, en régularisant par la même occasion l'épaisseur de la feuille. Les verres imprimés diffusent la lumière et donnent différents niveaux de réduction de la netteté de l'image transmise, et on les emploie souvent dans un but décoratif. Tout verre à vitre peut être *dépoli* par des traitements superficiels de givrage à la colle, de matage à l'acide et de sablage.

Transparence

La transparence d'un verre aux radiations visibles constitue la principale raison de son emploi dans les fenêtres. En tant qu'élément constitutif d'un mur externe, la fenêtre doit pourtant aussi régulariser le flux de chaleur. Toute énergie de rayonnement, que ce dernier soit visible ou invisible, produit de la chaleur lors de son absorption. Il est en conséquence nécessaire de connaître les caractéristiques de transmission du verre pour tout rayonnement qui le frappe. Le rayonnement solaire est à ondes ultracourtes (de 0.3 à 4.5 microns) et englobe la lumière visible (de 0.4 à 0.7 microns), qui est responsable pour la transmission de 43% de l'énergie totale, le rayonnement ultraviolet (moins de 0.4 microns de longueur d'onde) transportant 3% de l'énergie totale, et le rayonnement infrarouge (longueur d'onde supérieure à 0.7 microns) en transportant 54 pour cent. Le rayonnement émis par le sol et les surfaces des bâtiments appartient entièrement à l'infrarouge (longueur d'onde allant de 5 à 50 microns); il est de faible intensité. Les courbes adoucies de la figure 1A indiquent les niveaux d'énergie reçue aux différentes longueurs d'onde, de la part du soleil et d'objets terrestres.

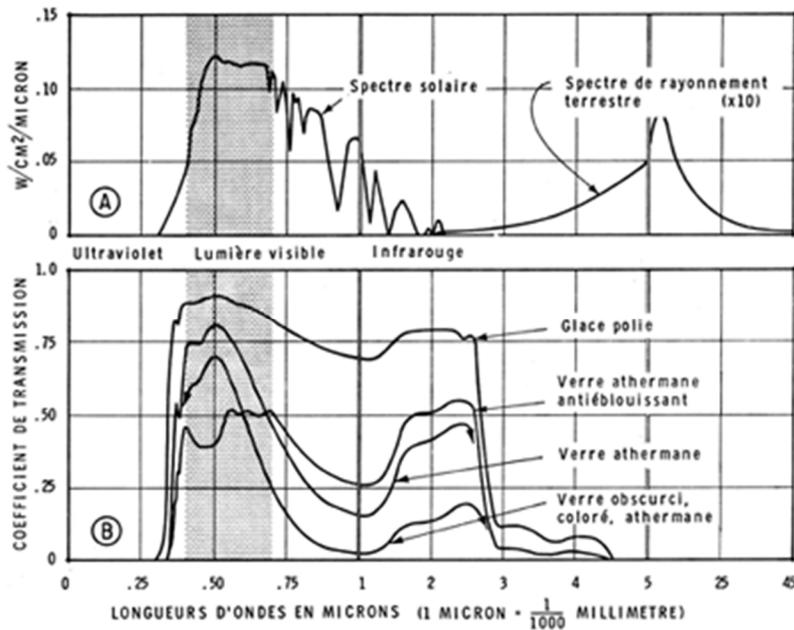


Figure 1. Courbes de transmission au travers de carreaux de différents verres (¼ de pouce d'épaisseur) du rayonnement provenant du soleil ou de corps terrestres.

Le verre n'est pas complètement transparent à l'énergie de rayonnement. Une partie en est réfléchi, une autre partie absorbée, et seul le reste est transmis. Les proportions de ces facteurs dépendent de la longueur d'onde et de l'angle d'incidence de la radiation et des caractéristiques du verre.

La transmission maximale pour toute surface plane de verre se produit quand le rayonnement est perpendiculaire à la surface du verre (angle d'incidence nul), quand la réflexion des deux faces est minimale et quand la voie suivie par le rayonnement est la plus courte possible. Au fur et à mesure que l'angle d'incidence augmente, la réflexion superficielle s'accroît ainsi que la longueur de la voie suivie par le rayonnement, et en conséquence le total de l'énergie transmise diminue. Cette réduction est cependant négligeable pour des angles d'incidence inférieurs à 50° , mais s'accroît rapidement jusqu'à la réflexion totale obtenue à 90° . La figure 1 du **CBD 39 F** indique les variations de coefficients de réflexion, d'absorption et de transmission en fonction de l'angle d'incidence pour une feuille simple de verre à vitre ordinaire.

La quantité de rayonnement énergétique absorbée par le verre varie selon la longueur d'onde du rayonnement et les caractéristiques d'absorption du verre. On peut voir à la figure 1B que la glace polie d'un quart de pouce d'épaisseur est fondamentalement transparente pour toutes les fréquences du spectre solaire à l'exception de l'ultraviolet lointain. Elle est cependant moins transparente aux radiations de longueur d'onde supérieure à environ 3 microns et opaque à celles dont la longueur d'onde dépasse 4.5 microns. Il en découle que le rayonnement solaire peut passer au travers du verre pour échauffer les objets à l'intérieur d'un bâtiment, mais que le rayonnement de plus grande longueur d'onde émis par les objets à l'intérieur du bâtiment est absorbé par le verre. Cet effet est partiellement à l'origine du phénomène de la serre, dans lequel un espace non chauffé enclos de verre s'échauffe rapidement au cours des heures d'ensoleillement et retient sa chaleur au cours de la nuit. On doit remarquer que l'absorption du rayonnement cause l'accroissement de la température du verre et que le rayonnement transmis échauffe l'intérieur du bâtiment.

Réduction des phénomènes de transmission

Il est possible de modifier le coefficient de transmission par le changement de l'angle d'incidence du rayonnement, l'accroissement de la réflexion superficielle du verre ou la modification de la composition chimique du verre en vue d'accroître le coefficient d'absorption.

Il est possible d'obtenir une très appréciable réduction du coefficient de transmission de chaleur pendant les mois d'été en inclinant vers l'extérieur la partie supérieure des vitres d'une fenêtre donnant au sud (**CBD 39F**). On peut réaliser une plus forte réflexion des radiations à l'aide de revêtements à forte réflectivité appliqués sur la vitre, mais la plupart ne sont pas durables et requièrent une certaine protection.

Les *verres athermanes* sont établis pour absorber la plus forte proportion possible du rayonnement infrarouge solaire tout en restant transparents à la lumière visible. Certains seront établis pour absorber aussi une partie de la lumière visible en vue de réduire l'éblouissement, réduisant ainsi encore plus la transmission de chaleur. La figure 1B montre des courbes typiques de transmission de la chaleur pour des verres athermanes et des verres antiéblouissants. Des verres photochromes sont en cours d'étude, qui modifient leur absorption en fonction de l'intensité du rayonnement, mais ils ne sont pas encore bien au point ni disponibles pour le public.

La réduction des gains de chaleur solaire au travers des vitres s'accompagne d'une diminution de la quantité de lumière naturelle entrant dans une pièce. La réduction de la transmission de chaleur par l'absorption cause un échauffement du verre alors que la réduction obtenue par une augmentation de la réflexion n'en provoque pas. La diminution de la quantité de lumière visible transmise dépend dans les deux cas des caractéristiques du verre utilisé.

Résistance du verre

Le verre est un matériau fragile qui ne se déforme pas plastiquement avant de se briser. Il se brise sous des contraintes de tension quelle que soit la nature de la charge. La résistance de tension théorique du verre atteint environ un million de livres par po.², mais la rupture se produit sous des tensions moyennes très inférieures à cette valeur en raison des imperfections superficielles tant inhérentes que créées mécaniquement, et qui ont pour effet de multiplier localement les tensions. C'est à ses rives que la vitre est la plus vulnérable, où des imperfections superficielles provenant de la taille ou de son maniement augmentent considérablement le risque de rupture. Le meulage et le polissage de la glace polie influence défavorablement les conditions physiques superficielles de la feuille de telle façon que sa résistance utile est considérablement plus faible que celle du verre à vitre poli au feu. L'influence de ces multiplicateurs de tension étant indéterminée, la valeur utile de la résistance à la traction est calculée statistiquement en tenant compte d'une importante marge de sécurité. L'utilisation de la valeur ainsi établie réduit les ruptures à un niveau insignifiant sans toutefois l'éliminer entièrement.

On peut fortement augmenter la résistance du verre par la création d'un sandwich de verre; c'est une feuille dont la partie centrale se trouve en contrainte de compression alors que ses deux faces sont en contrainte de tension. On y parvient en chauffant la feuille jusqu'au voisinage de son point de fusion, puis en refroidissant rapidement les deux faces. La contraction de la partie centrale (dans l'épaisseur) du verre crée la contrainte désirée quand le verre est froid. Ce *verre de sécurité trempé*, comme on l'appelle, possède une résistance au bris par flexion, impact ou choc thermique, trois à cinq fois plus forte que le verre recuit de même épaisseur, bien que ses autres propriétés, telles que la durabilité, la transparence (sauf en lumière polarisée), l'élasticité, la flexibilité ou le coefficient d'expansion ne soient pas modifiés. Le verre de sécurité trempé possède son talon d'Achille, qui est sa rive. Un choc même léger, infligé par un objet anguleux, peut en causer le bris. Les portes extérieures en verre de sécurité trempé sont pour cette raison protégées habituellement par des bandes métalliques à leur partie inférieure. La trempe du verre ne doit être faite que quand la feuille a été coupée à ses dimensions définitives, car toute entaille causerait l'émiettement de la feuille en un grand nombre de petits cubes.

On pense souvent que le verre armé est plus solide que le verre ordinaire en raison du renfort qu'apporte l'armature. C'est une erreur. En fait le verre armé est moins résistant en raison de l'existence de fissures aux rives, engendrées lors de la coupe du verre, et de contraintes internes dues aux différences de contraction des éléments composant le verre lors de leur refroidissement. L'armature ne vise qu'un seul objectif: tenir ensemble les morceaux de verre

après qu'un bris s'est produit. Cette action est toutefois d'importance pour les cloisons coupe-feu; elle offre une protection limitée contre les cambrioleurs et l'envol d'éclats de verre. Il est bien connu que comme cloison pare-feu ou comme barrière contre les cambrioleurs un carreau de verre armé fragmenté ne possède plus que le cinquième ou le dixième de sa résistance première.

Conductivité thermique

La conductivité thermique k du verre calcosodique est de 5 à 7 Btu /h. pi.² °F/po., plus faible que celle de la plupart des métaux, mais plus forte que celle des matériaux isolants. Une épaisseur normale de vitre n'offre qu'une résistance négligeable à la transmission de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment, et la résistance thermique d'un carreau consiste principalement dans les résistances superficielles de ses faces. Cette conductivité thermique est cependant suffisamment basse pour qu'un gradient notable de températures s'établisse dans l'épaisseur du carreau. L'existence de ce gradient découle des variations des échanges de chaleur aux faces, que complique la transmission de chaleur entre les rives du carreau et son cadre ou l'huissierie de la fenêtre. L'ombre portée par les dormants et la perte de chaleur qui affecte le verre quand l'huissierie est froide, causent un refroidissement considérable des rives du carreau par rapport à la partie centrale ensoleillée. Le fort gradient de température est à l'origine d'importantes différences dans les dilatations du verre, causant des contraintes de tension aux rives du carreau, et pouvant créer des fissures. Les verres athermanes, atteignant des températures beaucoup plus élevées que le verre transparent, sont sujets aux fissurations thermiques sous l'influence du rayonnement solaire.

Dilatation thermique

Le coefficient de dilatation des verres calcosodiques atteint la valeur 4.5×10^{-6} et leur module d'élasticité est de 10 000 000 liv./po.². La dilatation et la contraction thermiques sont des considérations importantes qui influent sur le dessin des pièces de fixation de la vitrerie, mais elles sont encore plus importantes par leur influence sur l'accroissement des contraintes internes du verre, causées par les divers échauffements des carreaux. Si des contraintes thermiques causent le bris du verre de sécurité trempé, il est possible d'utiliser un verre de borosilicate plutôt qu'un verre calcosodique. Le verre de borosilicate, qui possède un coefficient de dilatation d'environ 2×10^{-6} est généralement utilisé pour les articles de cuisine qui doivent résister à des chocs thermiques importants.

Durabilité du verre

Le verre est un matériau durable quand il ne supporte que les conditions atmosphériques normales, mais il subit quelque détérioration superficielle. L'élément atmosphérique le plus actif est l'eau. L'eau adsorbée superficiellement attaque la surface du verre, dissolvant ou libérant certains éléments qui forment alors une solution aqueuse alcaline. A l'exception de l'acide fluorhydrique, ce sont les solutions alcalines qui sont les agents les plus actifs attaquant le verre; si elles se maintiennent à la surface du verre, l'attaque peut devenir importante, d'où la nécessité de procéder à de fréquents nettoyages. L'attaque du verre produit une diminution de la brillance superficielle, mais une attaque prolongée diminuerait la visibilité par transparence. Des mouillements répétés suivis de séchage sans lessivage causent l'apparition d'une écume blanchâtre qui diminue encore la visibilité. Ces phénomènes se produisent généralement quand on laisse une certaine condensation se produire à l'intérieur de vitrages multiples hermétiquement scellés.

Les qualités que doit posséder le verre à vitres en tant qu'élément d'un mur extérieur sont déterminées par les différences entre les milieux séparés. Grâce à la prise en considération des caractéristiques des verres disponibles, grâce à un choix et à une disposition convenables, il est possible de satisfaire aux conditions requises.