

Table des matières

L'auteur	vii
Introduction Les merveilles du verre	1
1 D'où vient le verre ?	9
2 Les propriétés exceptionnelles du verre	21
3 L'utilisation incontournable du verre	27
4 Le contrôle des propriétés	35
5 La fabrication du verre	53
Conclusion	81
Remerciements	85
Bibliographie	87
Biographies	89

Introduction

Les merveilles du verre

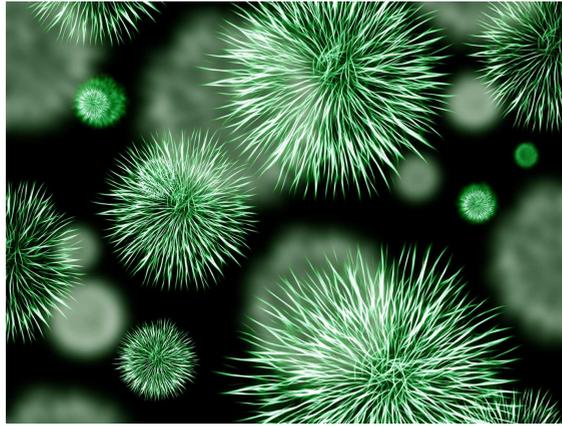
Le verre est un matériau universel connu depuis des millénaires. Depuis sa découverte, il a été façonné par l'homme qui lui a trouvé de nombreux domaines d'applications. Qui parle de verre parle de transparence et c'est effectivement une propriété extraordinaire. En effet, jusqu'au développement récent des matières plastiques dans la deuxième moitié du XX^e siècle, il était l'unique matériau solide pouvant être produit en grande quantité avec cette propriété intrinsèque, unique et merveilleuse : la transparence. Seules les pierres précieuses qui sont des monocristaux¹, par essence rares et précieux, avaient cette même propriété. Du fait de sa transparence, nous retrouvons le verre dans de très nombreuses applications. De façon spectaculaire, il est à l'origine de notre capacité de voir le monde qui nous entoure depuis les objets les plus petits jusqu'aux grandes structures de l'Univers. Il est l'élément essentiel des microscopes optiques dont les lentilles de verre nous permettent de voir l'intérieur des cellules avec une résolution exceptionnelle (figure 1).

Mais c'est aussi grâce au verre que nous sommes capables d'observer les objets les plus lointains. On peut ainsi, depuis l'existence des premières lunettes astronomiques jusqu'aux télescopes actuels, observer les planètes, les étoiles et les galaxies qui nous entourent (figure 2). Les miroirs des immenses

¹ Un monocristal est un arrangement parfaitement ordonné d'atomes ou de molécules. C'est l'état le plus stable de la matière condensée, mais les monocristaux sont la plupart du temps de petite taille. Seules des conditions contrôlées permettent d'obtenir des monocristaux de taille importante (de plusieurs millimètres à plusieurs centimètres en général). Le plus souvent, un solide est formé de multiples cristaux de petite taille (structure multicristalline).



(a)



(b)

FIGURE 1. (a) Microscope. Les éléments essentiels d'un microscope sont les lentilles en verre qui permettent le grossissement des objets. Leur qualité optique définit en grande partie la qualité du microscope. (b) Cellule sous microscope de fluorescence. C'est grâce au développement de la microscopie optique que la biologie a fait de spectaculaires progrès. Les développements récents de la microscopie de fluorescence ont permis d'observer avec une grande précision les organismes vivants, ici des bactéries.



(a)



(b)

FIGURE 2. Le verre est un élément essentiel des appareils optiques pour l'astrophysique : lunettes astronomiques et télescopes. Cela demande non seulement des procédés particuliers pour gérer l'indice de réfraction du verre et la transmission de la lumière à différentes longueurs d'onde (caractérisant la couleur), mais aussi une qualité de mise en forme et de surface particulièrement soignée. (a) Nébuleuse NGC2207-Nasa, formée de deux galaxies en train de fusionner, observée avec le Hubble Space Telescope. Crédit NASA/jPL-Caltech/STScI/Vassar. (b) Photo du miroir du Hubble Space Telescope.

interféromètres comme ceux de Virgo (35 cm de diamètre d'une surface quasiment parfaite) permettent aujourd'hui la détection des ondes gravitationnelles, ce qui constitue une véritable révolution pour l'astrophysique et la cosmologie.



FIGURE 3. La maison de verre ou maison de Johnson, construite en 1949 à New Canaan, dans le Connecticut aux États-Unis, a été conçue par Philip Johnson et son collaborateur Richard Foster pour sa résidence principale. Avec sa maison de verre, Philip Johnson, en continuateur des recherches de l'architecture de son époque et notamment du Bauhaus, réalise un fantasme de l'architecture moderne : la transparence.

Dans notre vie de tous les jours, la propriété de transparence du verre est aussi omniprésente, par exemple dans nos vitrages. Indispensable pour faire entrer la lumière naturelle dans notre habitat, une vitre nous permet de voir le monde extérieur de l'intérieur et réciproquement (figure 3).

D'autres propriétés du verre sont tout aussi étonnantes : la durabilité que l'on peut illustrer par les merveilleux vitraux de la cathédrale de Chartres, qui datent, pour certains, du XII^e siècle et dans leur grande majorité du XIII^e siècle, comme ceux de la Sainte-Chapelle à Paris (figure 4).

Il faut aussi noter que la neutralité du verre dans les interactions avec d'autres matériaux (gazeux, liquides ou solides) en a fait le matériau rêvé des alchimistes puis des chimistes. Parfaitement imperméable aux gaz et aux liquides, résistant à l'attaque de la majorité des produits chimiques, le verre est omniprésent dans un laboratoire de chimie (figure 5).

Au fil du temps, nous avons aussi appris à le rendre résistant à la température, ce qu'il n'est pas naturellement. Nos cuisines modernes sont équipées de plaques en vitrocéramique qui permettent par induction de cuire et de chauffer nos aliments (figure 6).

Le verre résiste aussi aux contraintes mécaniques comme la compression et la traction. Il est capable, sans casser, de supporter de lourdes charges, comme illustré par le test de chercheurs du laboratoire de recherche de Saint-Gobain en 1929 montant sur une plaque de verre en équilibre sur deux piliers éloignés. De façon encore plus spectaculaire, il peut résister à la traction des éléphants maintenus par une plaque de verre en suspension (figure 7).



FIGURE 4. Vitraux de la Sainte-Chapelle. Les vitraux ont été une application emblématique du verre qui s'est développée au XII^e et surtout au XIII^e siècle. À cette époque, le coût des vitraux pouvait représenter jusqu'à la moitié du coût total du bâtiment.



FIGURE 5. Verre dans un laboratoire de chimiste : le verre résiste à énormément de produits chimiques. Cette propriété, combinée avec la facilité de sa mise en forme pour réaliser de nombreux dispositifs, en fait le matériau par excellence utilisé dans tous les laboratoires de chimie.



FIGURE 6. Plaque de vitrocéramique : ce verre très spécial résiste aux changements de température par la cristallisation partielle du verre. Elle permet d'avoir un matériau qui ne change pas de dimension avec la température grâce à la compensation de la contraction des nanocristaux avec la chaleur par la dilatation de la matrice en verre qui les entoure.

Le verre est aussi un matériau d'une dureté exceptionnelle. Nous pouvons illustrer cette propriété par les traces encore visibles sur les miroirs des salons du restaurant Lapérouse à Paris. En effet, ces miroirs portent encore des rayures faites au XIX^e siècle par de belles courtisanes qui se voyaient offrir de luxueux diamants, pour preuve de leur intérêt par des galants – on parle même de sénateurs – qui les invitaient à dîner. Elles testaient la qualité des pierres par leur capacité à rayer le verre (figure 8).

Le verre a aussi cette propriété d'être un solvant remarquable dans lequel se dissolvent toutes sortes de minéraux. Ceci est dû, comme nous le verrons plus loin, à la structure non cristalline du verre qui, comme un liquide, accepte l'introduction de corps étrangers. L'une des illustrations nous montre un morceau de verre dans lequel des déchets nucléaires ultimes sont solubilisés en vue de leur enfouissement futur (figure 9).

Enfin, la propriété peut-être la plus intéressante, à la base de son utilisation si diversifiée, est la variation continue de la viscosité du verre avec la température, ce qui permet de le mettre en forme de façon unique grâce à de nombreux procédés utilisant tous cette étonnante particularité (figure 10). La variation de la viscosité est énorme sur une gamme de température accessible.

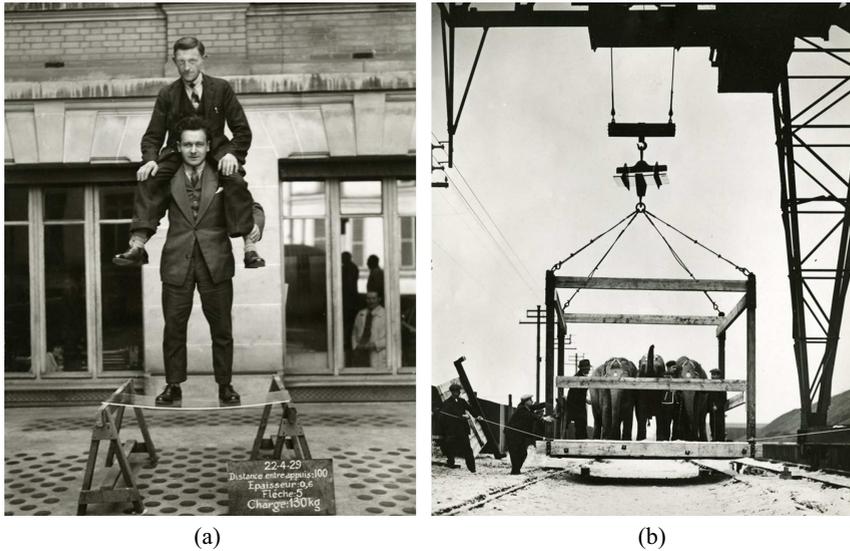


FIGURE 7. Le verre est un matériau très solide qui résiste à la traction et à la compression. Cette propriété mécanique est illustrée par les deux figures suivantes. (a) Deux chercheurs du centre de recherche de Saint-Gobain testant en 1929 la résistance mécanique d'une plaque de verre. (b) Trois éléphants suspendus à une plaque de verre. © DR / Archives de Saint-Gobain.

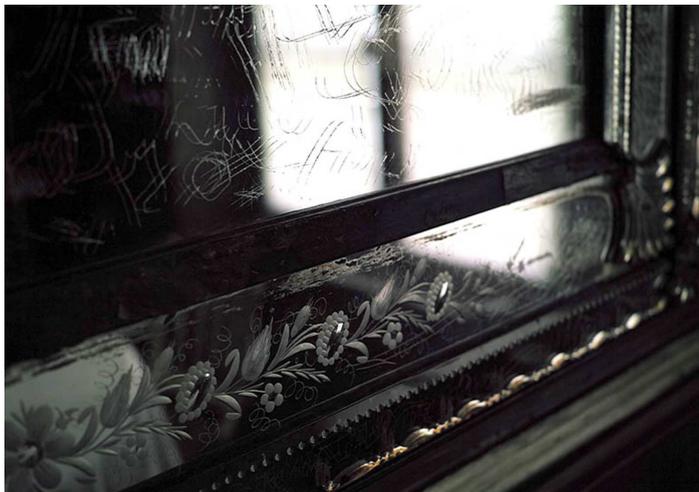


FIGURE 8. Miroirs des salons du restaurant Lapérouse à Paris. Des sénateurs au XIX^e siècle avaient pour habitude d'inviter des courtisanes dans les salons du restaurant Lapérouse à Paris et de leur offrir des bagues en diamant. Ces dames testaient la qualité de la pierre offerte en rayant le verre des miroirs, s'assurant ainsi de la valeur du cadeau. © DR.



FIGURE 9. Des déchets nucléaires ultimes dissous dans du verre en vue de leur enfouissement. Le verre est un très bon solvant permettant de dissoudre bien des composés, en particulier des ions minéraux. Ceci est illustré par la dissolution de déchets nucléaires dans du verre avant l'encapsulation dans un récipient en acier, préalable à l'enfouissement. © DR.

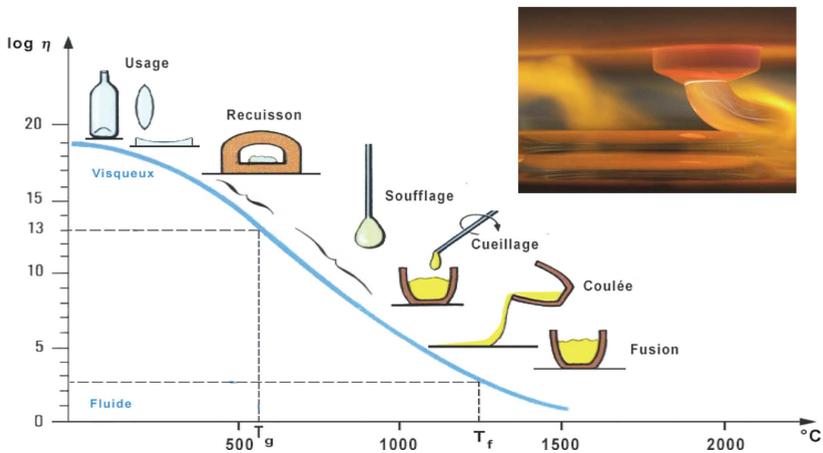


FIGURE 10. Variation de la viscosité du verre en fonction de la température. Le verre passe continûment d'un matériau liquide à très haute température à un matériau solide à température ambiante. Il est un matériau pâteux puis visqueux sur une plage de température de l'ordre de mille degrés. Cette propriété est largement exploitée dans les procédés de formage (mise en forme) des objets en verre. On voit que la viscosité (sur l'axe vertical en échelle logarithmique) varie par des facteurs de l'ordre de plusieurs dizaines de milliards quand la température passe de l'ambiante à 1 350 °C. La variation de la viscosité peut être de l'ordre de 1 000 ou plus sur quelques dizaines de degrés. Adapté de <http://www.astrosurf.com/luxorion/miroir-specifications-verres.htm>.

C'est aussi un des premiers matériaux recyclables à l'infini qui est effectivement recyclé de façon industrielle depuis plusieurs années dans un bon nombre de pays.