

V- les Verres :

Le verre est une matière transparente, dure et cassante.

V-1 Liaisons et structure des verres silicatés :

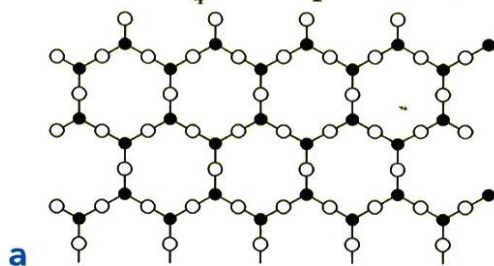
État vitreux

Un verre est formé à partir de silice SiO_2 à laquelle le verrier ajoute, entre autres, des *fondants* (comme l'oxyde de sodium Na_2O) et des stabilisants (comme l'oxyde de calcium CaO). Le mélange est chauffé jusqu'à obtenir une pâte de verre que le verrier peut façonner par soufflage avant que sa température diminue.

Lors du refroidissement, la pâte de verre devient de plus en plus visqueuse, puis se solidifie dans un état appelé état vitreux.

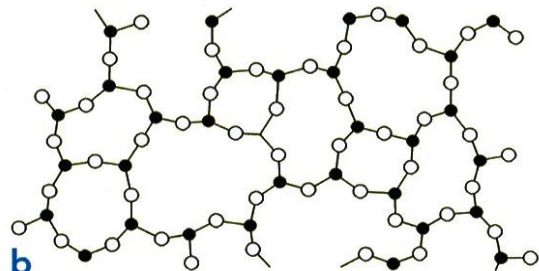
Structure microscopique de l'état vitreux

D'un point de vue microscopique, un verre est un réseau tridimensionnel, dans lequel chaque atome de silicium Si est lié à quatre atomes d'oxygène O. Le tétraèdre SiO_4 constitue une « brique » de l'édifice final. Les schémas ci-dessous montrent, respectivement, les représentations schématiques bidimensionnelles simplifiées de la silice cristalline et de la silice vitreuse (verre). Seules trois des quatre liaisons des tétraèdres SiO_4 sont représentées.



Dans un solide cristallin, les atomes sont organisés selon une structure régulière à grande distance : cet agencement est responsable, entre autres, de sa solidité. Mais, dans un verre, les atomes sont positionnés sans ordre particulier : le verre est un matériau *amorphe*. Dans un liquide, les molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres sans se disperser : l'état liquide est un état *condensé*, mais *désordonné* de la matière.

À haute température, les constituants du verre ont une énergie suffisamment importante pour pouvoir se déplacer les uns par rapport aux autres. Le verre fondu est donc dans un état désordonné proche de l'état liquide. Si on abaisse rapidement la température, les constituants du verre se déplacent de moins en moins facilement. Le verre fondu devient de plus en plus visqueux et se fige finalement dans un état désordonné : l'état vitreux. Cette parenté de structure entre liquide et verre permet d'assimiler un verre à un *liquide figé*.



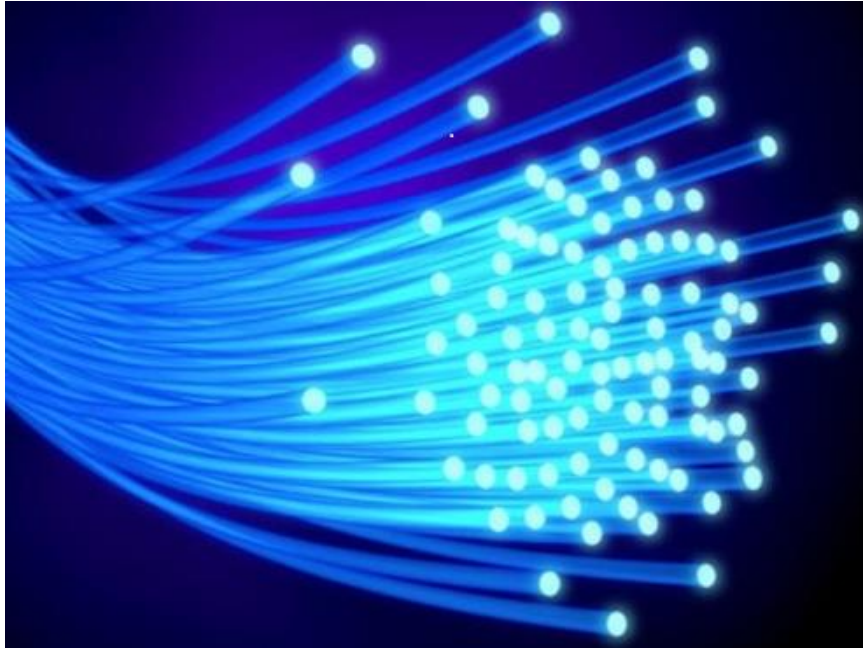
■ Silice cristalline (a) et silice vitreuse (b)

● : Atome de silicium

○ : Atome d'oxygène

-Les fibres optiques :

Les fibres optiques sont constituées de fils de verre très fin, obtenus par étirage de verre fondu. Elles ont la propriété de conduire la lumière et sont utilisées dans le domaine médical ou pour le transfert d'informations à haut débit (données informatiques, télévision, téléphone, etc.).



Fibres optiques

*Composition de quelques verres :

Nom des composants	Formule	Verre ordinaire	Verre « Pyrex »	« Cristal »
silice ou oxyde de silicium	SiO ₂	68 à 74 %	80 %	55 %
alumine ou oxyde d'aluminium	Al ₂ O ₃	0,3 à 3 %	2 %	
oxyde de sodium	Na ₂ O	12 à 16 %	4 %	
oxyde de potassium	K ₂ O	0 à 1 %	0,6 %	14 %
chaux ou oxyde de calcium	CaO	7 à 14 %	0,3 %	
magnésie ou oxyde de magnésium	MgO	0 à 4,5 %	0,3 %	
oxyde de bore	B ₂ O ₃		12 %	
oxyde de plomb	PbO			30 %

*Températures caractéristiques du verre

La solidification d'un verre s'accompagne d'une variation progressive de viscosité, qui permet de définir différentes températures caractéristiques de l'état du verre et de son aptitude à la mise en oeuvre :

– La **température de fusion** du verre, définie pour $\eta = 10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, correspond à la température au-dessus de laquelle il peut être considéré comme liquide et affiné par voie chimique (sa

viscosité est alors néanmoins de 2 ordres de grandeur supérieure à celle des liquides comme l'eau ou les métaux liquides).

- la **température de mise en forme**, pour $\eta = 10^3$ à 10^4 Pa · s, le verre peut être moulé, étiré, soufflé, etc..
- La **température de ramollissement** ($\eta = 10^7$ Pa · s) est la température d'affaissement du verre sous son propre poids.
- À la **température de recuit** ($\eta = 10^{12}$ Pa · s), les contraintes résiduelles préexistantes dans une pièce de verre sont éliminées.
- La **température de transition vitreuse** θ_v correspond au point d'inflexion de la courbe de variation de viscosité, et marque également une rupture de pente sur la courbe de variation du volume massique avec la température.
- La **température de tension** ($\eta = 10^{13}$ Pa · s) est la température à partir de laquelle une pièce de verre peut être refroidie rapidement sans risque que des contraintes résiduelles d'origine thermo-mécanique ne s'y développent.

V.2 Déformation des verres :

Les verres sont réputés pour être des matériaux fragiles. Ceci se vérifie lors de la mesure du comportement en traction où l'on observe une déformation élastique jusqu'à rupture du matériau sans déformation plastique. Les verres contiennent des micro fissures ou des défauts de surface, résultant comme des concentrateurs de contrainte.

V.3 Verres renforcés :

Les verres peuvent être renforcés grâce aux moyens suivants :

a- Trempe thermique

Le principe consiste à chauffer le verre jusqu'à une température proche de son point de ramollissement, puis à le sortir du four et à le refroidir rapidement (au niveau de la surface, à l'aide de jets d'air comprimé).

Les couches superficielles du verre se rigidifient alors que les couches internes (le "cœur") sont encore visqueuses. Le cœur étant proche de son point de ramollissement va fluer, annulant ainsi les contraintes. A son tour, le cœur se refroidit puis durcit. Sa contraction est toutefois perturbée par les couches superficielles. Une distribution de contrainte dans le matériau va apparaître que l'on peut supposer parabolique. Les contraintes de compression seront maximales au niveau des peaux alors que le cœur de l'échantillon présentera des contraintes de traction.

Application : Si une fissure superficielle atteint la zone en extension, ceci provoque la naissance d'une fracture qui se propage puis bifurque => rupture totale sous forme de petits éléments (pare-brise).

Inconvénient : le verre trempé ne peut pas être découpé, la pièce doit présenter sa forme définitive avant la trempe.

b- Trempe chimique

Le principe consiste à modifier le coefficient de dilatation à des couches superficielles selon le mécanisme suivant :

Si deux solides A et B de coefficients de dilatation respectifs $\alpha_1 > \alpha_2$ sont refroidis librement, le solide A se contractera davantage. Si on soude A et B à haute température, la contraction du solide A est freinée par le solide B, il sera donc en extension et B, pour des raisons d'équilibre en compression.