

Les Verres

1. Généralités

Verres: matériaux inorganiques qui lorsqu'ils sont refroidis passent de l'état liquide à l'état solide sans cristallisation.

En fait cette définition n'est pas tout fait rigoureuse car elle dépend de l'échelle laquelle on regarde:

- ❖ au niveau macroscopique, le verre est un **solide** et amorphe.
- ❖ au niveau microscopique, il y a un certain ordre au sein du solide. Cet ordre est observé sur une faible distance de l'ordre de quelques distances interatomiques.

Actuellement, on dénombre pas mal de systèmes inorganiques qui peuvent se comporter comme des verres.

Quand on parle de verre silicaté, on veut simplement dire qu'il s'agit d'un verre à base de silice.

Propriétés des verres:

- Transparence
- Inaltérabilité
- Imperméabilité
- Facilité de mise en œuvre (forme) à haute température.

Formule générale

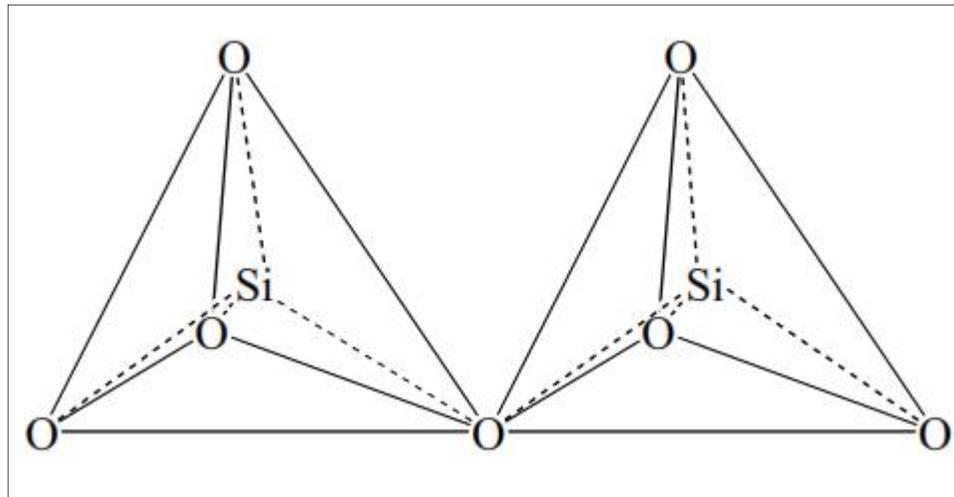
Constitués de trois composés de base:

1. Des **oxydes acides** comme par exemple la silice (SiO_2)
2. Des **oxydes d'alcalino-terreux** comme par exemple l'oxyde de calcium (CaO)
3. Des **oxydes alcalins** comme l'oxyde de sodium ou de potassium (Na_2O ou K_2O).

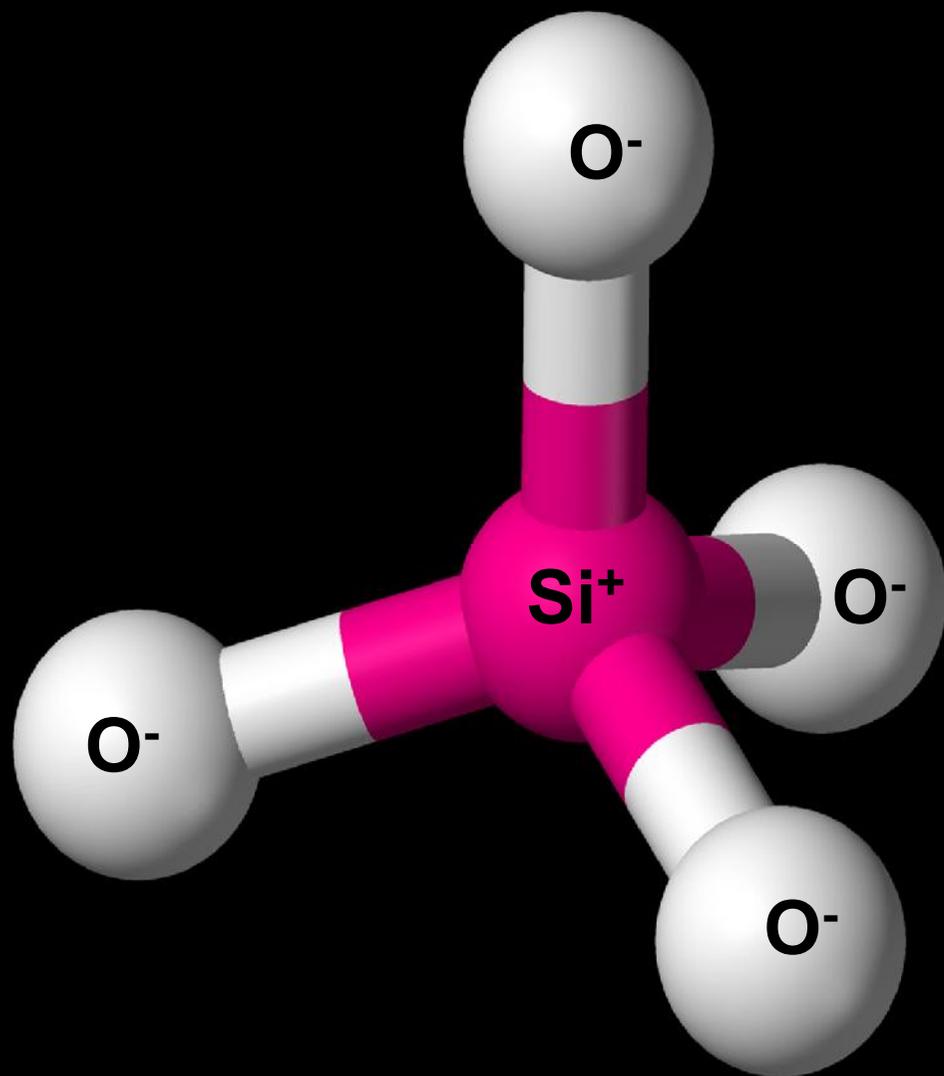
Les deux derniers étant bien sur des oxydes basiques.

2. Structure des verres

Elle provient essentiellement de la structure de la silice. Cette dernière existe sous beaucoup de formes **allotropiques**, La silice est sous forme de tétraèdre, le silicium occupe la position centrale et les atomes d'oxygène les sommets. L'angle entre les liaisons est de $109,5^\circ$. L'oxygène (O_2) un rôle de pont entre les atomes de silicium (Si-O-Si).



Allotropie: Organisation des mêmes atomes dans différentes variétés cristallines



A quoi est dû l'état vitreux ?

- A la **grande viscosité** de l'état liquide. Pour créer un solide cristallin, il faut que les atomes occupent des positions bien déterminées. Or l'état liquide est tellement visqueux que les atomes n'arrivent pas leur place.
- Les composés silicatés et alcalins sont environ mille fois plus visqueux que les huiles.

- Le passage de l'état liquide vers l'état solide se fait de manière **progressive**. Il n'y a pas de point de solidification, ni de fusion bien définis.
- Les propriétés physico-chimiques ne varient pas de manière brutale d'un état l'autre.

3. Propriétés du verre

A. Propriétés optiques

A. 1. Transparence

A. 2. Indice de réfraction (n)

B. Propriétés thermiques

B. 1. Conductivité thermique

B. 2. Résistance aux chocs thermiques

C. Propriétés électriques

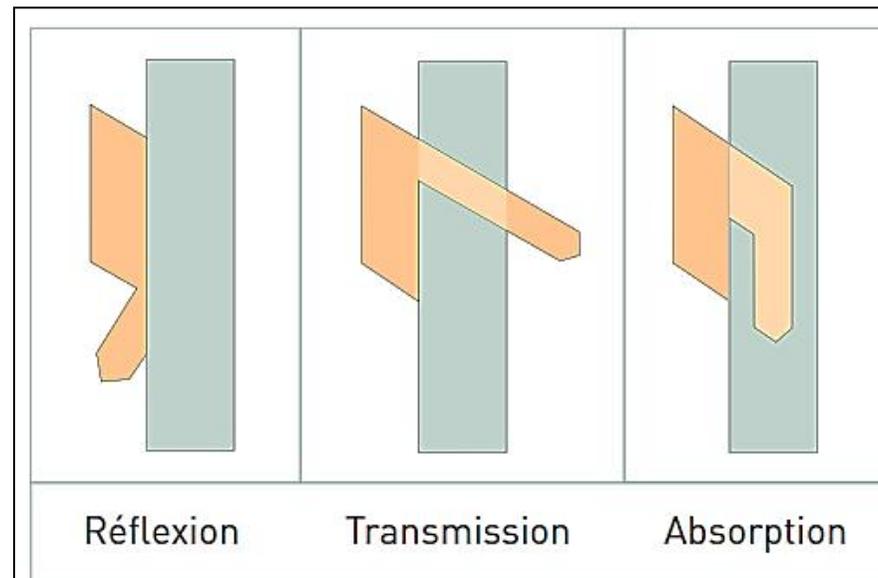
Conductions électriques

A. Propriétés optiques

A. 1. Transparence

Comment la mesure-t-on ?

En faisant passer un rayon caractérisé par sa **longueur d'onde**, son **intensité** et l'**épaisseur** du chemin traversé. On définit alors un coefficient d'absorption.



Concrètement on prend du verre et on fait passer un **rayon lumineux** dont on connaît la **longueur d'onde « L »** et l'intensité initiale « I₀ » et on mesure l'intensité sortante « I ».

On définit alors:

$$\begin{aligned} \blacktriangleright \text{l'absorbance: } A &= \log \frac{I_0}{I} \\ \blacktriangleright \text{la transmittance: } T &= \frac{I}{I_0} \end{aligned}$$

$$A = -\log T$$

A. 1.1. Dans le visible

- Les verres sont quasi transparents.
- Les verres à vitres ont une transmittance $T=0,98$ pour une épaisseur jusqu'à un centimètre. La transmittance chute quand l'épaisseur est plus grande qu'un centimètre.

A.1.2. Dans l'ultraviolet UV

- Pour les verres vitres, la transmittance est presque nulle.
- Le verre à vitre absorbe dans l'UV ; pour résoudre ce problème on utilise le quartz.

A.1.3. Dans l'infrarouge IR

- Pour les verres, la transmittance est presque nulle.
- Mais le quartz n'est pas indiqué. On utilisera alors des cellules en chlorure de sodium ou en plastique. Mais les cellules en plastique ont des problèmes de dureté et donc on ne les utilise pas à chaque fois.

A. 2. Indice de réfraction (n)

Pour rappel l'indice de réfraction c 'est

$$n = \frac{\text{La vitesse de la lumière dans le vide}}{\text{La vitesse de la lumière dans le matériau considéré}}$$

et n 'a pas de dimension.

$$n_{\text{air}} = 1 \quad \text{et} \quad n_{\text{verre}} = 1,5 \text{ à } 1,9$$

B. Propriétés thermiques

B. 1. Conductivité thermique

La conductivité thermique des verres est de l'ordre de 0,84 W/m K.
C'est important pour [l'isolement des bâtiments](#).

On définit un coefficient

$$Q = k (t_{ext} - t_{int})$$

avec « Q » le nombre de Watt, « k » une constante et « t » la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du local.

Pour améliorer la conductivité thermique des verres, on joue sur « k » avec le double vitrage par exemple:

- on met de l'air entre les deux verres
- ou on fait le vide entre les deux verres (ce qui ajoute un intérêt sonore).

Simple vitrage de 4 mm: $k = 5,86$

Double vitrage de 4 mm: $k = 3$

Triple vitrage de 4 mm: $k = 2$

$$Q = k (t_{ext} - t_{int})$$

B. 2. Résistance aux chocs thermiques

Le problème des verres se situe au niveau de la structure. Lorsqu'il y a dilatation, il faut qu'en un temps très court il y ait une réorganisation du solide.

En fonction de sa composition, le verre va être **plus ou moins** résistant aux chocs thermiques.

C. Propriétés électriques

Conductions électriques

Il existe deux grands type de conduction électriques:

- ◆ conduction **électroniques** (par exemple les métaux)
- ◆ conduction **ioniques** (par exemple le verre dont les cations alcalins sont responsables).

Au niveau des verres, on a un réseau formateur des oxydes comme la silice et l'oxyde de bore (B_2O_3). Et puis on a des oxydes modificateurs comme l'oxyde de calcium, de potassium ou bien de baryum. Ce sont les **ions alcalins** qui sont **responsables d'une certaine conductivité** du verre.

- ❖ A température ambiante, il y a une légère conductivité.
- ❖ A basse température, la conductivité est faible et même à l'état liquide, elle reste faible (car la mobilité des électrons est mauvaise car le liquide est très visqueux).

Le verre est considéré soit comme **isolant**, soit **comme très faible conducteur**.

Exemples pratiques de verres

Verre silico-sodo-calcique

Composition: SiO_2 et Na_2O et CaO

- ✓ Ce sont les verres les plus utilisés: 90 % de la production globale.
- ✓ Applications: vitres, flacons, ampoules de lampe, néon, ...
- ✓ Problème: résistance chimique relativement faible ; pour améliorer la résistance chimique on ajoute de 1 à 4 % d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3).

Verre boro-silicate

Composition:

SiO₂ (80 %) + **B₂O₃ (10 %)** et des restes d'autres oxydes

- Propriétés: grande résistance chimique, coefficient de dilatation linéaire très faible, bonne résistance aux chocs thermiques (variation de température jusqu' à 100°C).
- Applications: verrerie de laboratoire, verrerie industrielle, accessoires ménagers.

Silice vitreuse

Composition: SiO_2 pure Exemple: quartz

- ❑ **Propriétés:** coefficient de transmittance très élevé (y compris dans l'UV, dans le visible et dans l'infrarouge proche du visible), très grande résistance chimique, coefficient de dilatation très faible, excellente résistance aux chocs thermiques (variation de température jusqu'à 1000°C).
- ❑ **Applications:** verrerie spéciale de laboratoire.

Alumino-silicate

Composition: Al_2O_3 et SiO_2

- ❖ **Propriétés**: résiste à très haute température, bonne résistance aux chocs thermiques.

Verre d'optique

- ▶ Les caractéristiques optiques doivent être homogènes. Ceci implique un indice de réfraction très homogène avec cinq chiffres significatifs (Exemple 1,1111).
- ▶ Composition très variée.

Fibres optiques

- Application: utilisé en télécommunication entre autre lié à la vitesse de propagation du signal (exemple la lumière).
- Pour construire une fibre optique:
 - à l'intérieur, la fibre de verre possède un indice de réfraction très élevé
 - à l'extérieur, la fibre de verre possède un indice de réfraction plus faible
 - suite à cette différence d'indice de réfraction, le signal va se propager en zigzag jusqu'à l'extrémité de la fibre.

Fin de cours