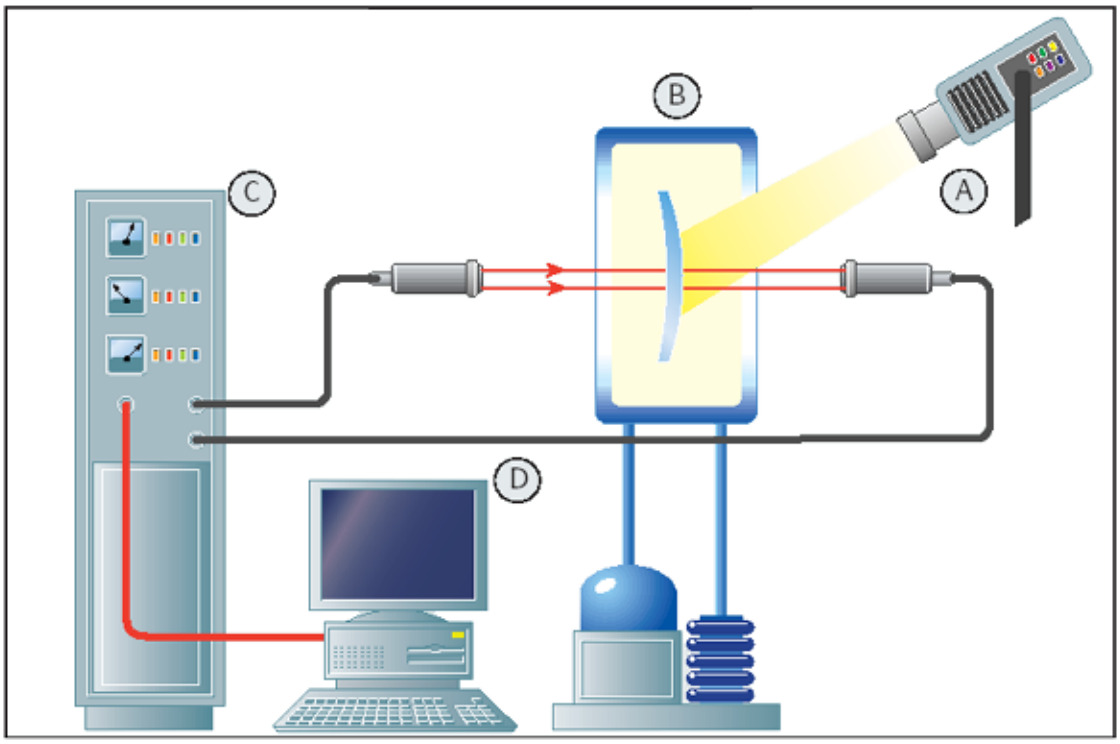
Connaissances matériaux

Cours EPSIC 2003 - Opticiens 1ère année



Unités utilisées	2
Notions de technologie	5
Essais de matériaux	22
Les verres minéraux et organiques	34
Les verres photochromiques	53
Propriétés des verres de lunettes	63
Les matières plastiques	72
Les matières plastiques en lunetterie	80
Fabrication des montures plastiques	85
Les matières plastiques naturelles	90

LES UNITES UTILISEES

Les unités du système international d'unités (SI)

Rappel des unités de base du système SI

Grandeur	unité	symbole
Longueur	*mètre*	*m*
Masse	*kilogramme*	*kg*
Temps	*seconde*	*s*
intensité électrique	*ampère*	*A*
intensité lumineuse	*candela*	*cd*

Les unités dérivées du système SI

Grandeur	unité	symbole
Force	*newton*	*N*
Travail	*joule*	*J*
Puissance	*watt*	*W*
Pression	*pascal*	*Pa*

Force et unité de force

L'intensité d'une force est égale au produit de la masse (sur laquelle elle agit) par l'accélération qu'elle lui communique.

$$F = m.a$$

F force en newtons
m masse en kilogrammes
a accélération en mètre par seconde par seconde

Unité de force: le newton
Le newton est l'intensité de la force, qui agissant sur une masse de 1 kilogramme, lui communique une accélération de $1 m/s^2$

1 newton = 1 kilogramme x $1 m/s^2$

Travail et unité de travail

Le travail d'une force qui se déplace sur sa ligne d'action est égal au produit de l'intensité de la force par la longueur du déplacement.

$$W = F.s$$

W	travail en joules
F	force en newtons
s	déplacement en mètres

Unité de travail: le joule
Le joule est le travail fourni par une force de 1 newton dont le point d'application se déplace de 1 mètre sur sa ligne d'action.

1 joule = 1 newton x 1 mètre

Puissance et unité de puissance

La puissance est le travail effectué pendant l'unité de temps.

$$P = W / t$$

P	puissance en watts
W	travail en joules
t	temps en secondes

Unité de puissance: le watt
Le watt est la puissance d'une machine qui fournit un travail de 1 joule en 1 seconde.

1 w = 1 j / 1 s

Pression et unité de pression

La pression exercée par une force, sur une surface normale à cette force, est égale au rapport de l'intensité de la force pressante par l'aire de la surface pressée.

$$p = F / A$$

p	pression en pascals
F	force en newtons
A	aire en m^2

Unité de pression: le pascal

Le pascal est la pression exercée par une force de 1 newton sur 1 surface de 1 mètre carré, normale à cette force. 1 pascal = 1 newton / 1 m^2

Les unités utilisées en résistance des matériaux

grandeur	unité	symbole	correspondance SI
longueurs	mètre centimètre millimètre nanomètre	*m* *cm* *mm* *nm*	*1 m* *1 cm* $=10^{-2}$ *m* *1 mm* $=10^{-3}$ *m* *1 nm* $=10^{-9}$ *m*
aires sections	centimètre carré millimètre carré	cm^2 mm^2	$1\ cm^2 = 10^{-4}\ m^2$ $1\ mm^2 = 10^{-6}\ m^2$
masses	kilogramme	*Kg*	*1 kg*
forces	newton décanewton	*N* *daN*	*1 N* *1 daN* $=10$ *N*
pressions	pascal bar	*Pa* *bar*	*1 Pa* *1 bar* $=10^{5}$ *Pa*
tensions	newton/ mm^2 décanewton/ mm^2	N/mm^2 daN/mm^2	$1\ N/mm^2 = 10^{6}$ *Pa* $1\ daN/mm^2 = 10^{7}$ *Pa*

NOTIONS DE TECHNOLOGIE

Les notions de technologie permettent de différencier les qualités physiques, les qualités chimiques et les possibilités de transformation des différents matériaux utilisés en optique oculaire

Les qualités mécaniques

Les principales qualités mécaniques d'un matériau sont:

la résistance
la dureté
l'élongation
l'élasticité

La résistance

Toute force qui s'oppose au mouvement ou à la déformation d'un matériau.

Tout objet subit une déformation lorsqu'il est soumis à des forces.

Ainsi une barre d'acier ou une poutre en bois fléchit lorsqu'un poids lui est suspendu. Un os à tendance à se rompre sous l'effet d'une force.
La déformation varie suivant la manière dont l'effort est appliqué.

Le but de l'étude de la résistance des matériaux est de:

- déterminer à l'aide d'essais les caractéristiques mécaniques des divers matériaux, afin de les choisir le plus judicieusement possible
- déterminer **les formes et les dimensions** des pièces pour obtenir des constructions solides et économiques, c'est à dire le poids de matière le plus faible avec la plus grande résistance possible
- déterminer **l'action des traitements thermiques, chimiques** ou autres
- déterminer ou mesurer **les déformations** subies par ces pièces
- calculer la grandeur et le sens des sollicitations exercées sur une section donnée de la pièce (données en N/mm^2)
- évaluer la résistance d'une surface et sa dureté

On distingue.

La résistance à la traction

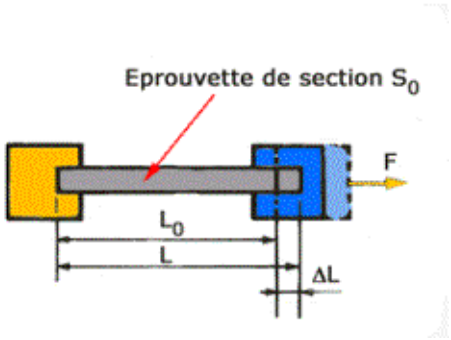
La résistance à la pression

La résistance à la flexion

La résistance au cisaillement

La résistance à la traction :

Un effort de traction provoque un allongement de l'objet.
Les forces s'exercent parallèlement à l'axe de la pièce



L'acier, le titane ont une résistance à la traction **élevée**.
L'or et l'argent ont une résistance à la traction faible.

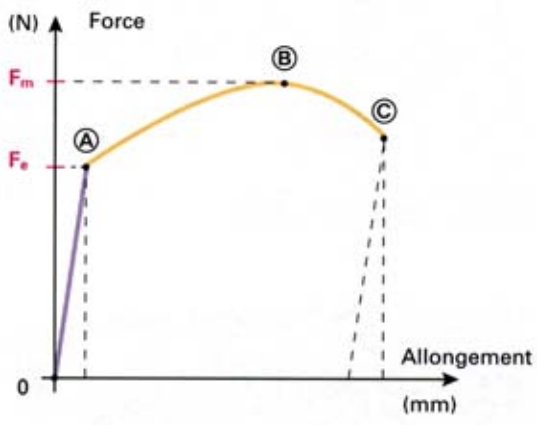
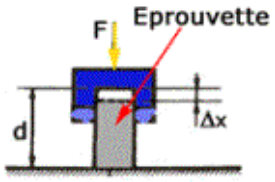


Figure 4. Diagramme de traction.

La résistance à la compression

Un effort de compression provoque
une réduction des dimensions de l'objet

Les forces s'exercent parallèlement à l'axe de la pièce.



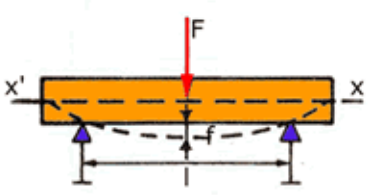
L'acier a une résistance à la compression **élevée**.

Le verre, **le caoutchouc** ont une **faible** résistance à la compression.

La résistance à la flexion

Un effort de flexion produit une courbure de la pièce.
Les forces agissent perpendiculairement à l'axe de la pièce et dans des sens opposés.

Le **titane** et les **duroplastes** ont une résistance à la flexion **élevée**

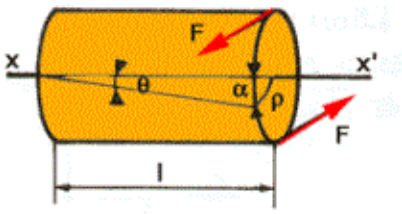


Les **thermoplastes** ont une résistance à la flexion **faible**

La résistance au cisaillement

Un effort de cisaillement (couper) produit une déformation de la pièce sans en changer les dimensions

Les forces sont égales mais de sens contraire le long des surfaces opposées

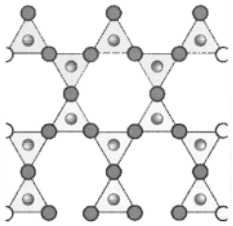


Exemple : on fixe un livre solidement sur une table puis on exerce sur le livre une force parallèle à sa surface supérieure (la table exerce une force égale mais opposée sur sa surface inférieure). La forme du livre varie.

La résistance dépend :

- *des forces de cohésion et des forces d'adhésion*
- *de la structure de la molécule.*

structure cristalline :



- **réseau cubique centré** : résistance élevée

ex : chrome, fer à température ambiante, molybdène, vanadium

- **réseau cubique face centrée** : facilement déformable

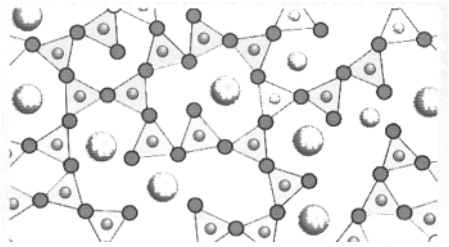
ex : plomb, cuivre, or, argent, aluminium, fer à haute température

- **réseau hexagonal** : très cassant

ex : titane, zinc, magnésium

- **structure amorphe :**

ex : le verre



La dureté

Définition :

La dureté est la résistance d'un matériau qui s'oppose à la pénétration d'un autre corps dur :

sous pression (statique)
avec choc (dynamique)
par rayure d'un corps de matière plus dure que celui à essayer

Lors des différents essais de dureté on obtient seulement des valeurs de **comparaison.**
Ces valeurs sont utiles pour

- trouver le bon moyen pour l'usinage
- tester la qualité du durcissement
- harmoniser l'usure des différentes pièces

L'élongation

Lorsqu'un corps s'allonge sous l'effet de forces extérieures, des tensions apparaissent.
On dira qu'un corps est :

résistant lorsqu'il peut être réellement allongé (ex : le caoutchouc)
cassant lorsque sans allongement notable, il casse (ex : verre minéral)

L'élasticité

La déformation :

On appelle déformation d'un corps solide le changement des dimensions et du volume de celui-ci, s'accompagnant souvent d'une modification de la forme du corps.
Les déformations sont provoquées soit par une variation de température, soit par l'action de forces extérieures.
Lors des déformations, les particules disposées aux nœuds des réseaux cristallins des solides s'écartent de leurs positions d'équilibre initiales pour en occuper de nouvelles. Les forces d'interaction entre particules s'y opposent, il apparaît alors dans le corps déformé des forces élastiques intérieures, qui équilibrent les forces extérieures appliquées au corps.

Déformation élastique

La déformation est dite élastique si elle disparaît dès que l'on fait cesser l'action de la force qui la provoque.

Déformation plastique

Si le corps reste déformé lorsque l'action de la force cesse, la déformation est anélastique ou plastique.

On peut distinguer différentes élasticités

- **élasticité dure - résistante** : malgré de fortes tensions il y a peu de déformations
- **élasticité dure – cassante** : la rupture survient soudainement
- **élasticité élevée** : le corps supporte des forces élevées et l'allongement est élevé
- **élasticité souple** : le corps se déforme facilement avec des forces peu élevées

Domaine élastique

Il n'y a pas de changement de structure du corps : les déplacements des particules sont **réversibles.** Les particules reprennent leurs positions initiales.

Domaine plastique
Il y a changement de structure du corps, les particules ne reprenant pas leurs positions initiales.

Les qualités chimiques et physiques

Les principales qualités chimiques et physiques d'un matériau sont:

la résistance à la corrosion
les états d'agrégats (masse formée d'éléments unis solidement entre eux)
la masse volumique
la chaleur
la conductibilité (électrique et thermique)

La résistance à la corrosion

La corrosion:

La corrosion est la destruction lente et progressive d'une substance, généralement métallique par effet chimique ou électrochimique.

Les causes extérieures de la corrosion sont

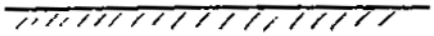
- l'air et les intempéries
- l'eau
- l'air marin
- les vapeurs contenant des acides
- les gaz etc..

La corrosion se manifeste principalement par

- *une perte de poids*
- *une modification de l'aspect du métal*
- *une diminution de sa résistance*

La corrosion peut être

uniforme et généralisée



localisée (piqûres)

intercristalline (attaque en profondeur)

Quelques exemples de corrosion

La rouille:

Oxyde de fer (fer + oxygène de l'air)

44% de la production mondiale d'acier (fer + 0.05 à 1.7 % de carbone) a été attaqué par la rouille ces 50 dernières années et a dû être remplacé.(les aciers inoxydables sont des aciers contenant du chrome et du nickel. Ils sont plus résistants).

Oxyde de cuivre:

Cuivre + oxygène

A la surface d'une plaque de cuivre se forme une mince couche qui protège alors le métal (corrosion uniforme et généralisée) car la couche est imperméable. Seul l'aspect extérieur change (métal mat).

Même phénomène de couche protectrice avec le zinc, le plomb, l'aluminium.

Vert de gris:

Cuivre + acide acétique

hydrocarbonate de cuivre dont le métal se recouvre au contact de l'air. On en trouve parfois sur des montures de lunettes car aussi bien le maillechort que le doublé sont à base de cuivre.
(maillechort: alliage de cuivre nickel et zinc).

Le chrome, le nickel, l'aluminium, s'oxydent en surface et protègent les couches profondes. Ces métaux ont l'avantage de produire une couche oxydée incolore (parfois augmentée artificiellement pour l'aluminium éloxé.
(éloxage: procédé électrochimique qui renforce la couche protectrice).

Influence de la surface sur la corrosion

surface idéale surface réelle

Les surfaces polies ne présentant pas de raies sont moins facilement attaquées que les surfaces rugueuses
Plus la surface se rapprochera de la surface idéale, parfaitement polie moins la corrosion aura de prise.

Protection contre la corrosion:

Recouvrements métalliques

- *galvanoplastie: nickelage - chromage*
- *immersion dans des bains de métal*
- *placage*

Modification de l'état de surface

- *modification de la couche superficielle: nitruration*
- *oxydation anodique : éloxage de l'aluminium*
- *Parkérisation ou phosphatage*

(déposer à la surface des pièces en alliages ferreux, une couche de phosphates de fer et de manganèse)

Recouvrements non métalliques

- *vernis*
- *produits gras*

Oxydation naturelle

- *couche d'autoprotection*

Recouvrements métalliques

Recouvrement par un métal peu sensible à la corrosion et à l'oxydation tel nickelage, chromage ...
(les objets sont suspendus à la cathode – des sels se trouvent en solution - le métal électropositif est attiré vers la cathode, négative)

Projection ou immersion dans un bain métallique liquide: zingage, plombage, étamage.
Les métaux à protéger sont plongés dans des cuves chauffées (Zn 450 - 470 ° C, Sn 250 à 300°C Pb 360 à 380 ° C). La durée d'immersion est de une à vingt minutes selon la couche désirée (0,02 à 0,05 mm).

Placage: revêtement sous pression à froid ou à chaud d'une mince couche de métal protecteur: ex le doublé-or.

Modification de l'état de surface

Modification de la couche superficielle: nitruration (traitement par l'azote 70 h dans des fours à 550 ° C)

Oxydation anodique, provoquée par procédé électrolytique: ex: éloxage de l'aluminium.
(formation d'une couche d'oxyde et d'hydroxyde fortement accrochée au métal de base.

Parkérisation ou phosphatage: trempage dans des bains chauds de phosphate de fer, d'acide phosphorique, de bioxyde de manganèse.

Recouvrements non métalliques

Par vernis ou matières synthétiques: plastification tel Optyl sur métal

Par application de produits gras
utilisation pour la protection de parties métalliques minces, lors du stockage et du transport (huiles et graisses minérales uniquement).

Oxydation naturelle
Sur certains métaux l'oxydation de l'air forme une couche étanche et empêche l'attaque en profondeur (zinc- plomb - aluminium - cuivre)

Remarques :

Les métaux précieux ne s'oxydent pas (or, argent, platine, iridium)
Les macromolécules des matières plastiques sont brisées par le dioxyde de carbone et les rayons ultraviolets.

Etats physiques de la matière

En première approximation on distingue trois états fondamentaux :

état solide
état liquide
état gazeux

Passage d'un état physique à un autre état physique :

Fusion :

La fusion est le passage de l'état solide à l'état liquide

Solidification ou gel :

La solidification est le passage de l'état liquide à l'état solide

Vaporisation ou évaporation :

La vaporisation est le passage de l'état liquide à l'état gazeux

Condensation :

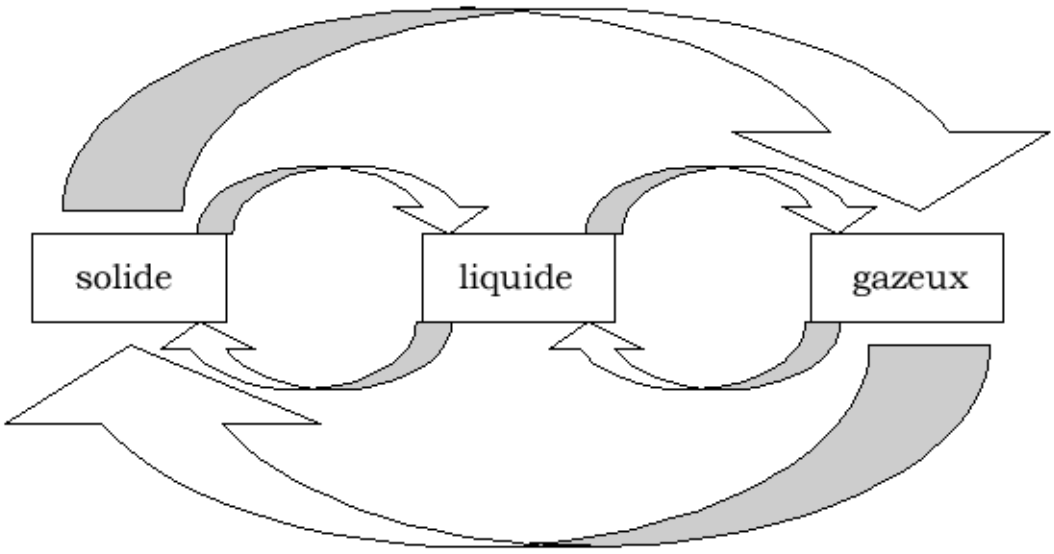
La condensation est le passage de l'état gazeux à l'état liquide

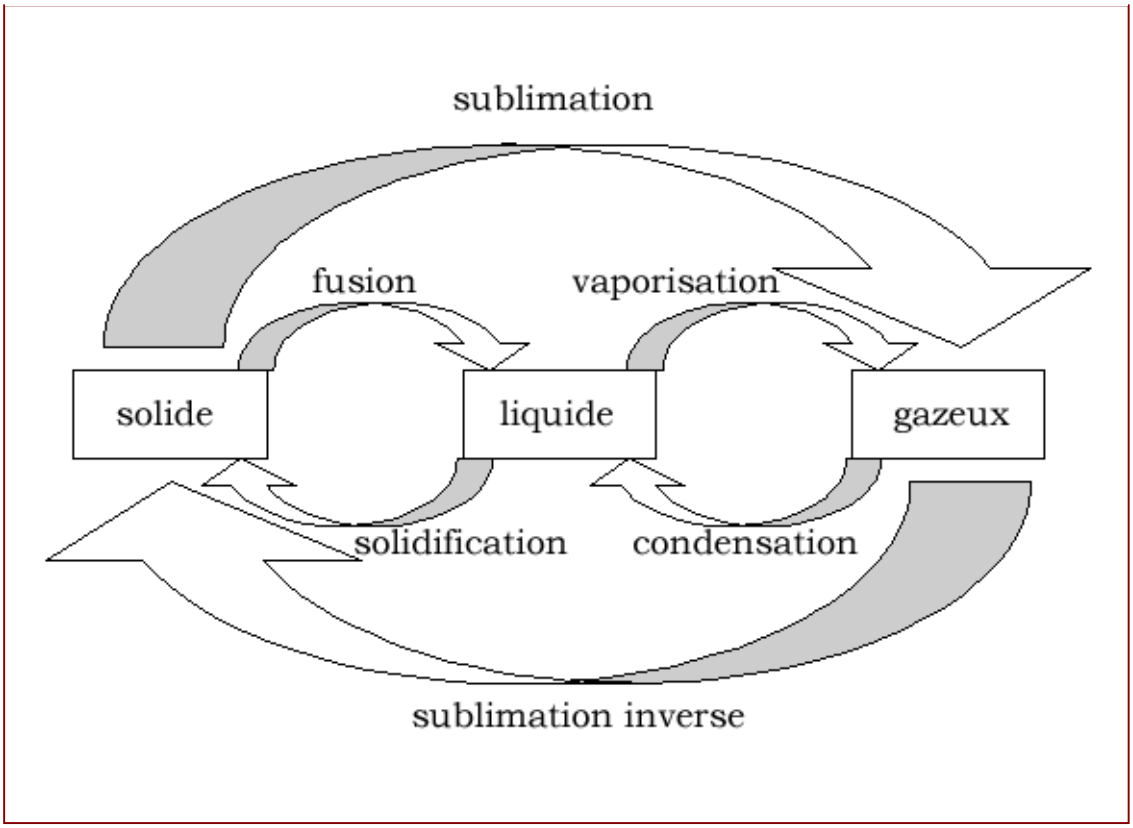
Sublimation :

La sublimation est le passage direct de l'état solide à l'état gazeux

Resublimation ou sublimation inverse :

La sublimation inverse est le passage direct de l'état gazeux à l'état solide


solide
liquide
gazeux


sublimation
fusion
vaporisation
solide
liquide
gazeux
solidification
condensation
sublimation inverse

La masse volumique

Définition :

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ	masse volumique en kg/m^3 dans le système SI
m	masse en kg
V	volume en m^3

La chaleur

Notion de température.

Les particules qui constituent la matière - molécules et atomes - ne sont pas immobiles. Dans les solides, les atomes oscillent continuellement autour d'une position d'équilibre. Ces positions d'équilibre sont fixes et assurent la forme définie de l'objet. Dans les liquides et les gaz, les molécules n'ont pas de places définies. Elles circulent à des vitesses considérables, se heurtant les unes aux autres ou heurtant les parois du récipient. Ces mouvements ne peuvent pas être observés directement, mais ils se manifestent sous l'aspect de la température.

La température d'un corps s'exprime en Kelvin (K) dans le système SI.
(OK = -273.15°C)

Élever la température d'un corps, c'est accroître la vitesse moyenne de ses molécules.
Abaisser la température d'un corps équivaut à diminuer l'énergie moyenne de ses molécules.

En général un corps chauffé possède de l'énergie qu'il n'avait pas avant l'échauffement. L'énergie calorifique que possède un corps doit être considérée comme étant la somme des énergies mécaniques (énergie cinétique et énergie potentielle) des molécules de ce corps.

La conductibilité calorifique et électrique

Conductibilité calorifique

Les métaux ne conduisent pas également la chaleur.
Le métal le plus conducteur est l'argent, ensuite viennent le cuivre, l'aluminium et le fer.

Conductibilité électrique

Quand dans un circuit électrique, on remplace un fil de cuivre par un fil de mêmes dimensions en fer, on constate que l'intensité du courant diminue.
La conductibilité électrique du cuivre est plus grande que celle du fer.

La conductibilité électrique des métaux varie dans le même sens que leur conductibilité calorifique.

Si 100 est la conductibilité calorifique et électrique de l'argent celles des autres métaux est :

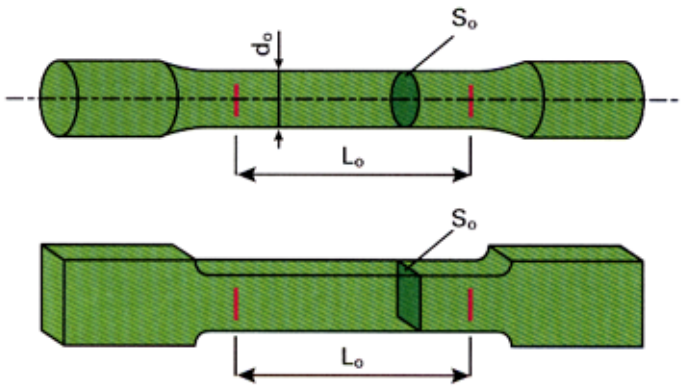
METAL	Conductibilité calorifique	Conductibilité électrique
Argent	100	100
Cuivre	90	94
Or	70	75
Aluminium	50	52
Zinc	19	28
Fer	12	15
Plomb	8,5	7,6

Le verre, la porcelaine, les matières plastiques sont de mauvais conducteurs.

Essais de destruction des matériaux

Essai de traction

L'essai de traction consiste à soumettre un échantillon de matière à une force croissante qui va le déformer progressivement, puis le rompre.

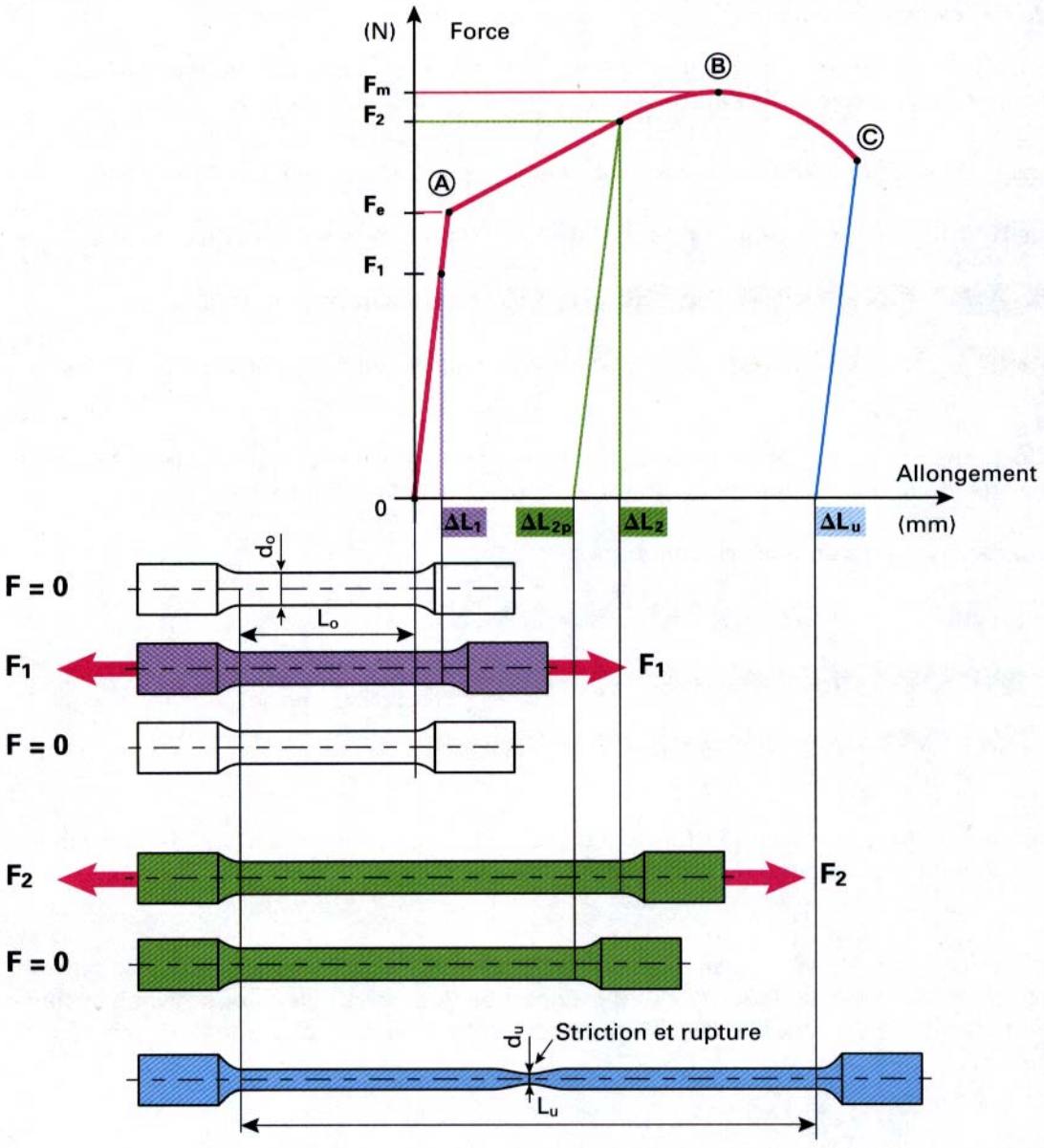


Une éprouvette de traction est usinée dans l'échantillon de matière.

Principe de l'essai

L'éprouvette de forme et de dimensions déterminées est soumise à un effort de traction. Cette force de traction augmente lentement jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

On enregistre la force mesurée en fonction de l'allongement de l'éprouvette, ce qui donne un **diagramme de traction.**


(N)
Force
Fm
F2
Fe
F1
Ⓐ
Ⓑ
Ⓒ
0
Allongement
(mm)
ΔL1
ΔL2p
ΔL2
ΔLu
do
Lo
F = 0
F1
F1
F = 0
F2
F2
F = 0
du
Striction et rupture
Lu

Première partie du diagramme (OA) rectiligne :

L'allongement est proportionnel à la force appliquée
La déformation est réversible : c'est le domaine ***élastique***
Au point A la force indique la limite du domaine élastique

Deuxième partie du diagramme AB

Les déformations sont irréversibles : domaine de la déformation ***permanente*** *ou* ***plastique****.*
Au point B la force correspond à la force maximale appliquée.

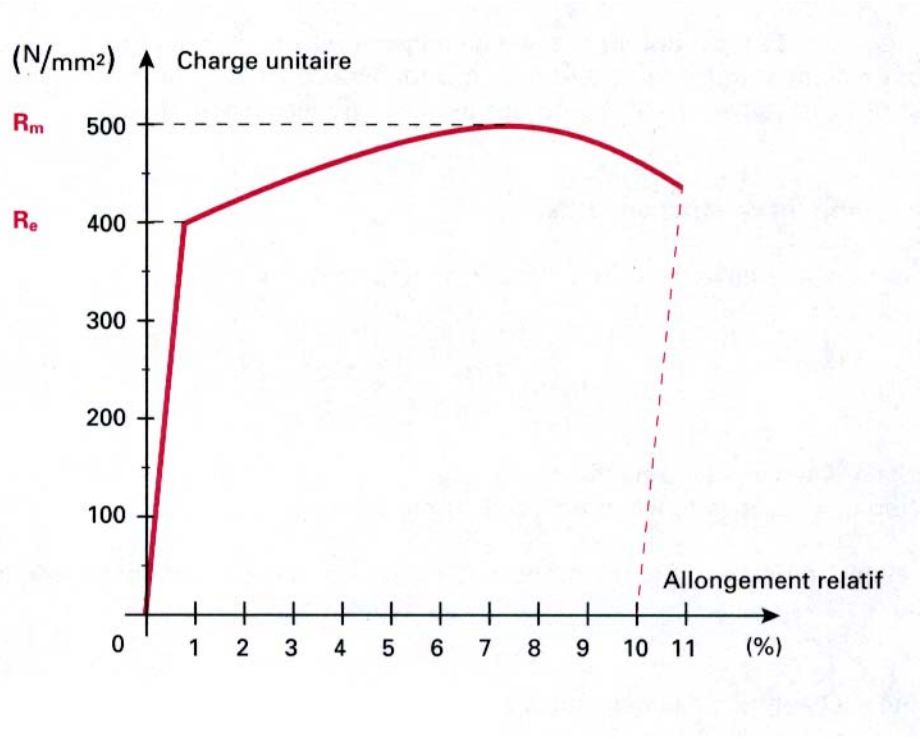
Troisième partie du diagramme BC

La déformation de l'éprouvette se localise à une partie de l'éprouvette, c'est la ***striction.***
Au point C l'éprouvette casse à l'endroit de la striction

Pour des raisons de comparaison on peut présenter le diagramme avec :
en ordonnées : la charge unitaire
en abscisses : l'allongement relatif

La charge unitaire R : est la force qui s'exerce sur 1 de section de l'éprouvette
L'allongement relatif : est l'allongement comparé à la longueur initiale de l'éprouvette et ce rapport est exprimé en %

La résistance à la traction R_m est la charge unitaire maximale que supporte l'éprouvette testée.
La limite élastique R_e est la charge unitaire maximale qui n'engendre pas de déformation permanente.



Essais de dureté

Il y a autant de définitions de la dureté que de techniques pour la mesurer !

Echelle de MOHS

La dureté d'un corps est la propriété consistant à rayer un autre corps et/ou ne pouvant pas être rayé par lui.

Historiquement, la première échelle de dureté a été établie par le minéralogiste allemand Friedrich Mohs en 1820. Elle comprend une lise de 10 minéraux naturels classés dans l'ordre des duretés croissantes, chacun rayant le précédent et étant rayé par le suivant.

Echelle MOHS	Minéraux
1	Talc
2	Gypse
3	Calcite
4	Fluorite
5	Apatite
6	Orthose
7	Quartz
8	Topaze
9	Corindon
10	Diamant

Le verre crown a une dureté de 5.5

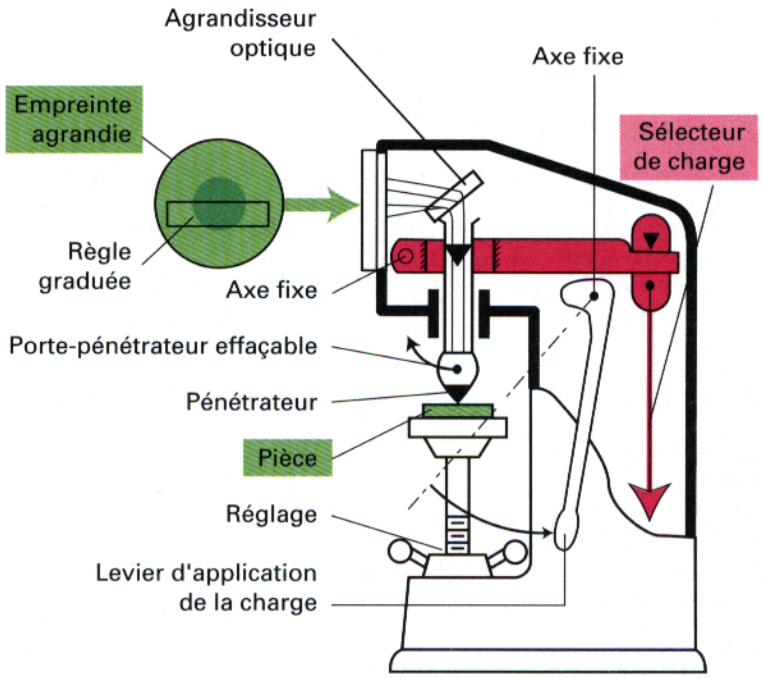
La dureté représente la résistance de la matière à la pénétration d'un corps solide. (cette définition est à la base des mesures de la dureté sur les métaux).

C'est en 1900 que l'ingénieur suédois **Brinell** eut l'idée de mesurer la surface de l'empreinte laissée par une bille d'acier dur, enfoncée dans la matière avec une pression connue et constante. Ainsi plus la surface de l'empreinte est petite, plus la matière contrôlée est dure.

Puis Monsieur **Rockwell** imagina une machine qui permit la mesure d'une dureté élevée, comme l'acier trempé, avec de faibles charges.

Enfin des ingénieurs de la firme anglaise **Vickers** développèrent une machine semblable à celle de Brinell. Ils remplacèrent la bille par une pyramide en diamant, ce qui permit de contrôler indifféremment des métaux durs et tendres avec de faibles charges.

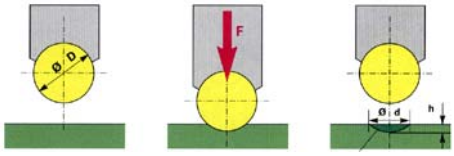
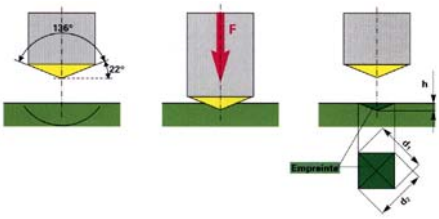
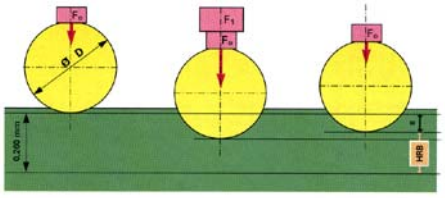
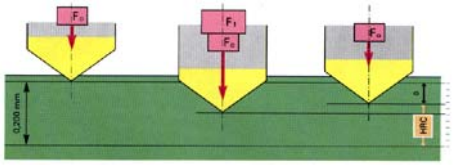
Les appareils utilisés pour les mesures de la dureté s'appellent des **duromètres**.



Coupe schématique d'un duromètre

Principe de l'essai

Avec la méthode par pénétration statique, l'essai consiste à imprimer dans la pièce une empreinte à l'aide d'un pénétrateur. Après le retrait de la charge, on mesure la dimension de l'empreinte laissée à la surface de la matière.

Essai	Pénétrateur	
Brinell	*Bille en acier*	
Vickers	*Pyramide en diamant*	
Rockwell	*Bille en acier trempé ou cône en diamant*	
		

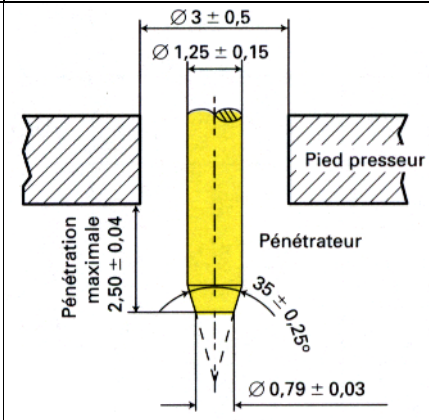
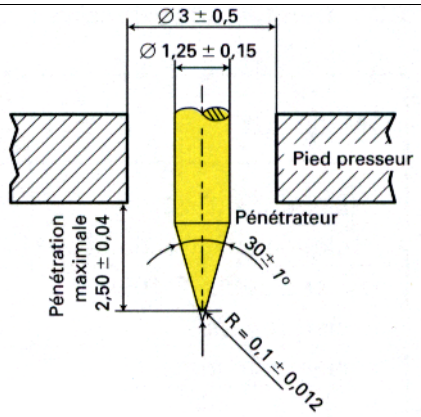
Duretés des plastiques et élastomères

Les procédés de mesure de dureté sur les métaux ne sont pas utilisables pour les matières plastiques (polymères organiques).
Pour l'instant seul le procédé **Shore** (type A et type D) a fait l'objet d'une normalisation internationale ISO.

La dureté par pénétration est inversement proportionnelle à l'enfoncement d'un pénétrateur sous une force donnée.
La méthode Shore consiste à mesurer l'enfoncement d'un pénétrateur conique, ou tronc conique dans le matériau à tester, sous l'action d'un ressort étalonné.

La lecture sur le cadran de l'appareil s'étend de 0 à 100 divisions (100 divisions correspondant à la dureté maximale, c'est à dire une pénétration nulle).

Selon la forme du pénétrateur et l'étalonnage du ressort, deux duretés Shore sont définies.

Shore	Pénétrateur	Applications	
A 1kg	*Cône tronqué en acier trempé*	*Elastomères et plastiques mous à mi-durs*	
D 5 kg	*Pointe conique en acier trempé*	*Plastiques mi-durs à durs*	

Duromètre Shore D, marque Bareiss

Duromètre de table, marque Wolpert

Conditions de l'essai

- essai effectué à température ambiante
- l'échantillon est placé sur une surface rigide et plane
- l'épaisseur de l'échantillon doit être au moins de 6 mm
- le duromètre est appliqué perpendiculairement sur l'échantillon avec une masse de 1 kg pour le Shore A et 5 kg pour le Shore D
- en général, la lecture du cadran s'effectue après 15 secondes d'application du duromètre

Les essais de résilience

Les essais de résilience permettent de mesurer la ténacité des matériaux. La ténacité est caractérisée par la propagation brutale de fissures.

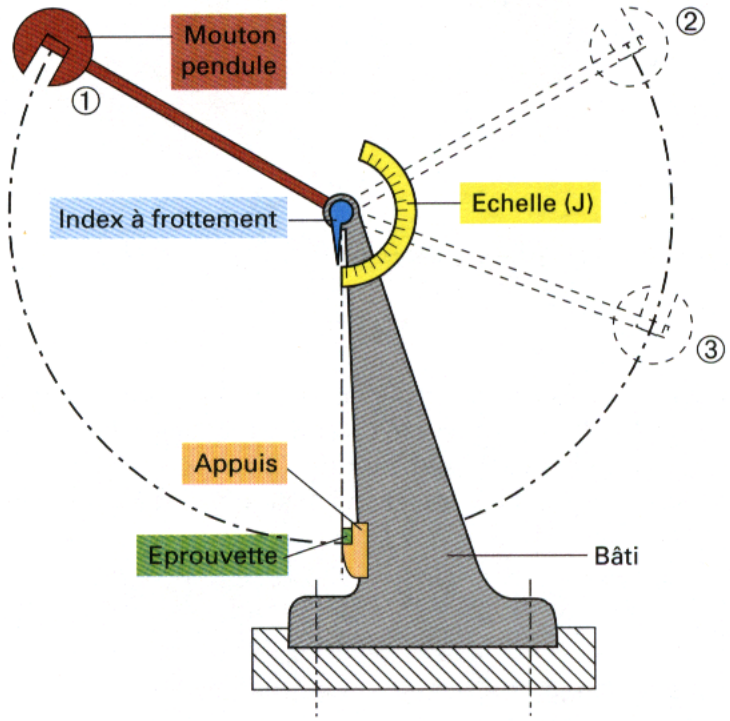
Une des mesures possibles de la ténacité est la détermination de l'énergie nécessaire provoquant la rupture.

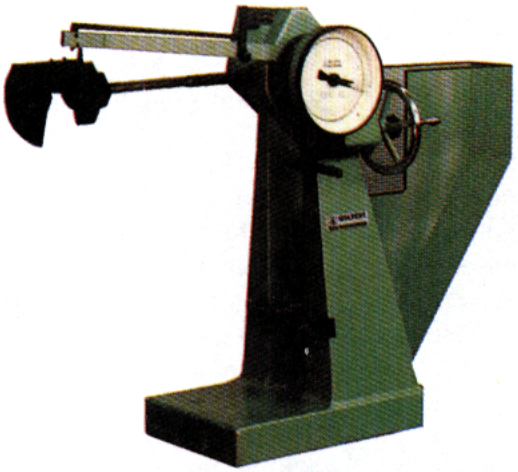
C'est le français **Georges Charpy** qui a mis au point ces essais.

Principe de l'essai Charpy

L'essai consiste à rompre d'un seul coup de mouton-pendule, l'éprouvette entaillée en son milieu et reposant sur deux appuis.
On détermine alors l'énergie absorbée par la rupture de l'éprouvette.

Machine et manipulations

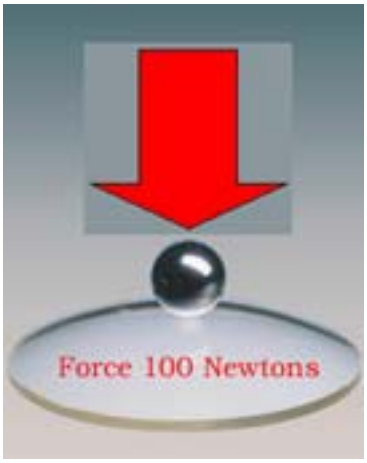




Essais pour verres de lunettes

Résistance mécanique : normes CE
Procédé statique

Afin de garantir au porteur une plus grande sécurité, les verres doivent résister à une charge de 100 newtons appliquée progressivement sur une bille d'acier de 22 mm de diamètre, pendant 10 secondes.



Résistance mécanique : normes US
Procédé dynamique

Les verres doivent résister à la chute d'une bille de 16 g, tombant d'une hauteur de 1.27 m.

Autres essais

Ils existent encore bien d'autres essais tels que :

- couleur de trempe : la teinte de la couche d'oxydation détermine la dureté
- essai de fatigue
- essai de pliage
- essai aux rayons X
- essai aux ultrasons
- macrographie
- micrographie
- fluorescence

Questions sur le chapitre 2

Les qualités mécaniques

Différenciez les efforts de traction- compression - flexion et cisaillement
Différenciez forces de cohésion et forces d'adhésion
Donnez différentes définitions de la dureté
Citez des corps durs
Citez des corps fragiles
Comment pouvez-vous définir la limite d'élasticité ?
Quel est le rapport entre la limite d'élasticité et la fragilité ?
Comment pouvez-vous protéger des métaux de la corrosion ?
Citez des unités possibles de la masse volumique
Citez des unités possibles de la densité

Les différents états de la matière
Donnez la définition et le nom des passages d'un état physique à un autre état physique

LES VERRES MINERAUX ET ORGANIQUES

Le verre minéral

Généralités

On appelle, verre, tout matériau **amorphe** et anorganique qui est formé à partir de mélanges d'oxydes. Le verre est dur et cassant à basse température et prend un état visqueux à une température plus élevée.

Le verre n'ayant pas une structure cristalline, n'a pas de point de fusion net, mais un intervalle de température au sein duquel il passe de l'état solide à l'état vitreux.

A côté du verre à vitre et du verre à bouteille, le **verre optique** prend une place importante dans l'industrie du verre.

Le verre optique est classé en trois catégories principales :

Le verre pour les instruments d'optique
Le verre pour les verres de lunettes
Le verre pour l'optique à fibres

Historique

Nul ne peut dire qui a inventé le verre. Son industrie comme celle des émaux est plusieurs fois millénaire et semble remonter au moins à 5000 ans av. J.C.
L'Egypte représente le berceau de cette industrie tant par l'existence des colliers en pâte de verre trouvés dans les tombeaux que par les fresques de Beni-Hassah près de Thèbes. Ces fresques nous montrent, entre autres , toutes les phases du soufflage.

Pline, dans son « Histoire naturelle », attribue au hasard la découverte du verre en disant que des marchands phéniciens, supportèrent un jour leur marmite avec des blocs de carbonate natif, qui fondant sous l'action du feu et se mélangeant au sable du rivage, donna du verre fondu, transparent après refroidissement. Le fait est très douteux.

L'usage d'enfermer des morts dans des cercueils en verre paraît avoir été commun aux peuples de l'Extrême-Orient, des égyptiens, aux assyriens, des perses du temps d'Alexandre le Grand (356 – 323 av. J.C.)

En 210, sous le règne de Néron, à Rome, les verriers occupent tout un quartier de la ville. On allie l'or, les pierres précieuses, les teintes pour fabriquer de merveilleux objets (très belle collection au British Museum de Londres).

Dès le VI^{e} siècle apr. J.C. les mosaïques de verre donnèrent naissance aux vitraux des édifices religieux.

Au Moyen Age les vitres disparurent des maisons et les fenêtres diminuèrent de dimension. Les vénitiens s'attachèrent les artistes verriers et pour que les secrets de fabrication soient bien gardés, les ateliers furent transportés dans l'île de Murano. Venise garda pendant plusieurs siècles la suprématie du verre.

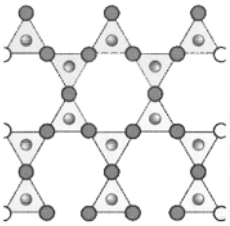
Dès les XIV et XV émes siècles, Nuremberg, Prague, la Bohême, plus tard la France (Saint – Gobain 1695 - Baccarat en 1815 –…) deviennent des grands centres verriers.

Nature et structure du verre

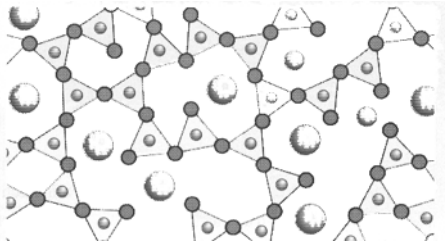
Il est difficile de définir parfaitement le verre, sans faire appel à des hypothèses sur les structures moléculaires.

Au cours de l'élaboration du verre on réalise un mélange des divers constituants : silice, soude, chaux etc…. Lorsqu'on refroidit cette solution, sa viscosité s'élève progressivement jusqu'à donner un matériau solide, mais sans cristallisation. Alors que le réseau des corps cristallins est parfaitement ordonné, le réseau vitreux est chaotique. Le verre n'étant pas cristallisé, il n'y a pas de point de fusion franc. Lorsqu'on élève la température, le réseau se disloque progressivement, ce qui se traduit par un abaissement de la viscosité.

Bien que le verre soit un corps amorphe, il peut apparaître des germes de cristallisation lorsque le verre se trouve à haute température. On a une dévitrification.



structure cristalline



structure amorphe

Composition du verre minéral

Les composants de base du verre minéral sont la **silice** (SiO_2) et l'alumine (Al_2O_3) que l'on trouve respectivement sous forme de sable déferrisé (sable de Fontainebleau) et de feldspath. Les oxydes alcalins sont généralement apportés sous forme de carbonates ou nitrates de sodium et de potassium. Les oxydes de calcium et de magnésium sont généralement apportés par des carbonates.
A ces composants de base s'ajoutent beaucoup d'autres produits comme les terres rares, par exemple.

On peut regrouper les oxydes entrant dans la composition des verres en deux grandes catégories :

Les oxydes formateurs du réseau, qui pourraient presque à eux seuls constituer un verre :

Exemples
SiO_2 silice
B_2O_3 oxyde de bore
P_2O_5 oxyde de phosphore

Les oxydes modificateurs

Ils ont pour fonction de modifier les propriétés de base apportées par les oxydes formateurs (viscosité – propriétés électriques – résistance chimique – coefficient de dilatation)

Exemples
K_2O oxyde de potassium
Na_2O oxyde de sodium
CaO oxyde de calcium
BaO oxyde de baryum

Les oxydes intermédiaires

Ils se comportent formateurs ou modificateurs :

Exemples
Al2O3 alumine
ZnO oxyde de zinc
TiO_2 oxyde de titane

Nous trouvons encore :

Des affinants

Ils ont pour fonction essentielle de favoriser l'élimination des inclusions gazeuses (bulles) dans le verre en fusion :

Exemples

oxyde d'antimoine
nitrates et sulfates alcalins alcalino-terreux

Des colorants

Leur présence provoque une absorption sélective de certaines longueurs d'onde du spectre, ce qui détermine la teinte du verre :
(teinte dans la masse)

Exemples

bleu :	FeO, oxyde ferreux absorption dans le rouge oxyde de cobalt
jaune verdâtre	Fe_2O_3, oxyde ferrique : par absorption dans le violet et le bleu
vert	FeO + Fe_2O_3
brun	oxyde de nickel
rougeâtre	oxydes de cuivre, d'or ou de sélénium
jaune	oxydes de cadmium, soufre et argent
violet	oxyde de manganèse
noir	FeS sulfite de fer

Pour l'absorption des rayons X on ajoute de l'oxyde de plomb

Principales familles

Les verres sodocalciques

Les **Crowns** sont les verres de lunetterie les plus utilisés.

Leur composition reste très proche de celle du verre à vitre avec une forte teneur en silice, en soude et en chaux.

Les verres borosilicates

Les verres minéraux d'indice moyens appartiennent à cette famille
(n_e =1.604)

Les verres **photochromiques** : leur composition est très élaborée du fait même de leur particularité qui les fait réagir à certaines radiations lumineuses. On a choisi une structure vitreuse très stable ; un **borosilicate** à forte teneur en bore auxquels s'ajoute des **microcristaux d'halogénure d'argent**, responsables du phénomène photochromique.

Les verres à haut indice :

Traditionnellement on introduisait dans leur composition, de l'oxyde de plomb, ce qui augmentait leur masse volumique.
Aujourd'hui pour réaliser les verres à haut indice unifocaux on introduit de l'oxyde de **titane**.
D'autres éléments tels le niobium, le zirconium, le lanthane sont également présents pour ajuster les propriétés optiques.

Pour les segments des multifocaux fusionnés on utilise de l'oxyde de **baryum**.

Matières premières utilisées

Composant	Oxyde	TYPE DE VERRE							
		Sodocalcique		Borosilicate		Titane	Titane/ Lanthane	Lanthane/Niobium	
		1.5 blanc	1.5 teinté	1.5 photo	1.6 photo	1.6 blanc	1.7 blanc	1.8 blanc	1.9 blanc
Silicium	SiO_2	70	71	57	48	56	36	29	7
Aluminium	Al_2O_3	1	-	6	-	1	-	-	-
Bore	B_2O_3	1	-	18	15	6	10	2	17
Sodium	Na_2O	11	12	4	1	9	2	-	-
Potassium	K_2O	5	6	6	5	8	-	-	-
Lithium	Li_2O	-	-	2	2	4	6	4	-
Magnésium	MgO	1	-	-	-	-	-	-	-
Calcium	CaO	9	11	-	-	-	9	15	14
Baryum	BaO	2	-	-	6	-	-	-	-
Zirconium	ZrO_2	-	-	5	7	1	5	5	8
Titane	TiO_2	-	-	2	6	15	6	9	9
Niobium	Nb_2O_5	-	-	-	8	-	9	15	21
Lanthane	La_2O_3	-	-	-	-	-	14	21	24
Strontium	SrO	-	-	-	2	-	3	-	-
Fer	Fe_2O_3	-	1	-	-	-	-	-	-

Fabrication du verre minéral pour la lunetterie

Le verre brut de lunetterie n'est pas livré sous la forme d'une lentille prête à l'emploi. C'est en réalité un moulage appelé « palet » ou « blank » qui nécessite des finitions. On a à disposition des palets de courbures variées s'approchant le plus possible des courbures des oculaires finis.

Le verre de lunetterie doit posséder des qualités optiques bien définies, ainsi que des qualités mécaniques et chimiques assurant confort, longévité et sécurité d'utilisation.

Il fait appel à des techniques de fabrication qui tiennent compte de la qualité exigée en lunetterie, mais aussi de l'aspect économique de la production.
Les verres couramment utilisés sont fabriqués en grande série, alors que certains verres spéciaux font appel à des procédés de fabrication moins automatisés.
Il y a encore un siècle, il n'existait aucun procédé spécifique de fabrication des verres de lunetterie.

La première grande étape technologique fut franchie en 1914, avec la mise au point d'un four continu à étirage vertical pour la fabrication de feuilles de verre.
Pendant la deuxième guerre mondiale fut mis au point un four continu permettant d'obtenir un verre de qualité parfaite pour l'optique de précision et la lunetterie.

Principales étapes de la fabrication

- *préparation de la composition (mélange)*
- *élaboration du verre*
  - *la fusion*
  - *l'affinage*
  - *le conditionnement*
  - *la distribution du verre*
- *le pressage automatique*
- *la recuisson*
- *les contrôles*

La préparation de la composition :
C'est une opération très importante, car elle détermine l'homogénéité et l'indice de réfraction du verre. Les constituants sont pesés très précisément.
Le brassage des différents composants est réalisé dans un mélangeur et la composition est transférée auprès des fours de fusion.

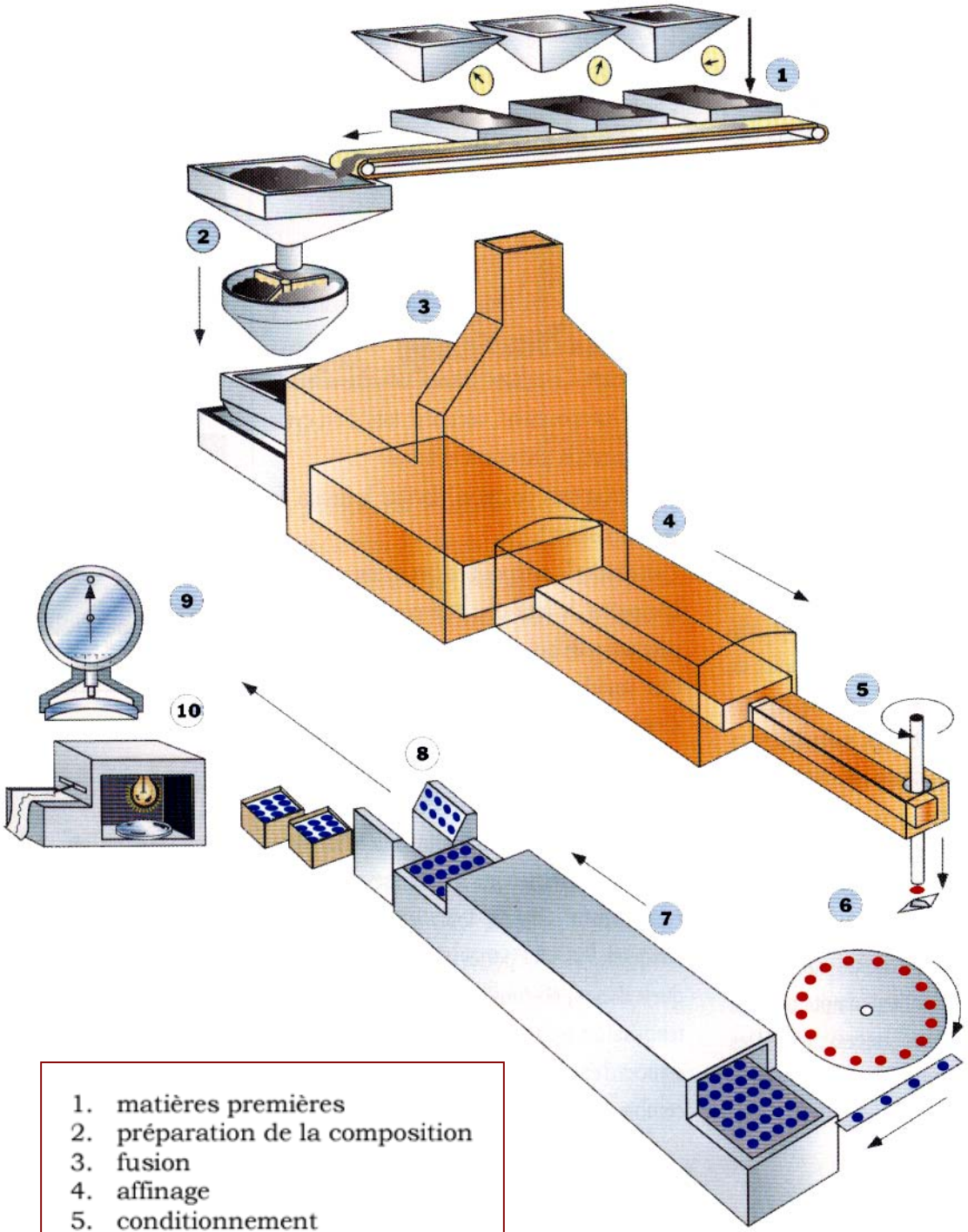
L'élaboration du verre

La fusion
La composition dans laquelle on a ajouté du calcin est introduite dans la partie du four où va s'opérer la fusion.
Le calcin est du verre broyé de même composition. Le calcin facilite la fusion.
La température peut varier entre 1100 à 1500 °C selon le type de verre .

L'affinage
L'affinage consiste à augmenter la température du verre pour le rendre plus mou de façon à éliminer les gaz résiduels après la fusion. Cette opération est effectuée dans une deuxième partie du four, le bassin d'affinage.
On utilise comme matériau réfractaire, du platine, inoxydable et inattaquable par le verre chaud.

Le conditionnement
Après le raffinage, le verre est à trop haute température, trop fluide et insuffisamment homogène pour pouvoir être utilisé pour le formage.
Il doit donc être brassé en permanence (guinandage) et sa température est abaissé progressivement.

La distribution du verre
Le but de cette opération est de donner aux presses des quantités de verre de poids constant. Pour les obtenir, le filet de verre, qui sort d'un tube de coulée, a un débit stable et est coupé par des ciseaux en acier spécial.
Le cycle de fonctionnement des ciseaux est synchrone avec celui de la presse.
Ces quantités de verre de poids constant sont appelées « **paraisons** »



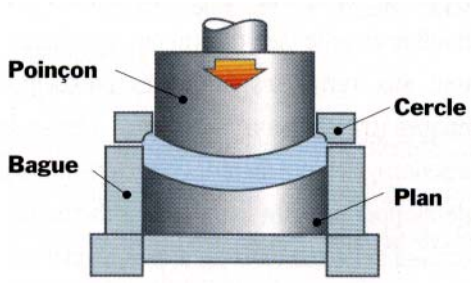
1. matières premières
2. préparation de la composition
3. fusion
4. affinage
5. conditionnement
6. pressage automatique
7. traitement thermique
8. emballage
9. contrôle de qualité
10. mesures en laboratoire

Le pressage automatique

Avoir des paraisons à la viscosité requise est impérative pour obtenir des moulages de bonne qualité.
Les paraisons tombent dans les moules qui se trouvent sur le plateau tournant de la presse : chaque position de la presse correspond à une phase précise du travail : **chargement, pressage, refroidissement, démoulage**.

L'outillage de pressage détermine les caractéristiques dimensionnelles du moulage.

- **la bague** forme le diamètre extérieur
- **le plan** donne la courbure convexe
- **le poinçon** comprime la masse du verre et donne la courbure concave
- **le cercle** ferme l'ensemble et détermine la forme des bords



outillage de fabrication
d'un moulage

La recuisson : traitement thermique
Lorsque le moulage sort de la presse, il est conduit à l'aide d'une bande transporteuse dans une **arche de recuisson.**
Pour les verres classiques l'opération de recuisson a pour but de diminuer très sensiblement les tensions internes d'origine thermique.
Pour cela, le moulage est porté à une température comprise entre 550 et 700°C suivant la nature du verre puis refroidi à vitesse contrôlée.
La réduction des tensions internes du moulage facilitera son surfaçage ultérieur.

Recuisson :cas particulier pour les photochromiques
Pour les verres photochromiques, le passage dans l'arche de recuisson a pour but de développer les cristaux d'halogénures d'argent en nombre et en taille bien déterminés, qui donneront aux verres ses propriétés photochromiques
(transmission – couleur – vitesse de réaction). La température est réglée au degré près.

Les contrôles
Le verre est contrôlé tout au long de la chaîne de fabrication :
Les principaux contrôles effectués sont :

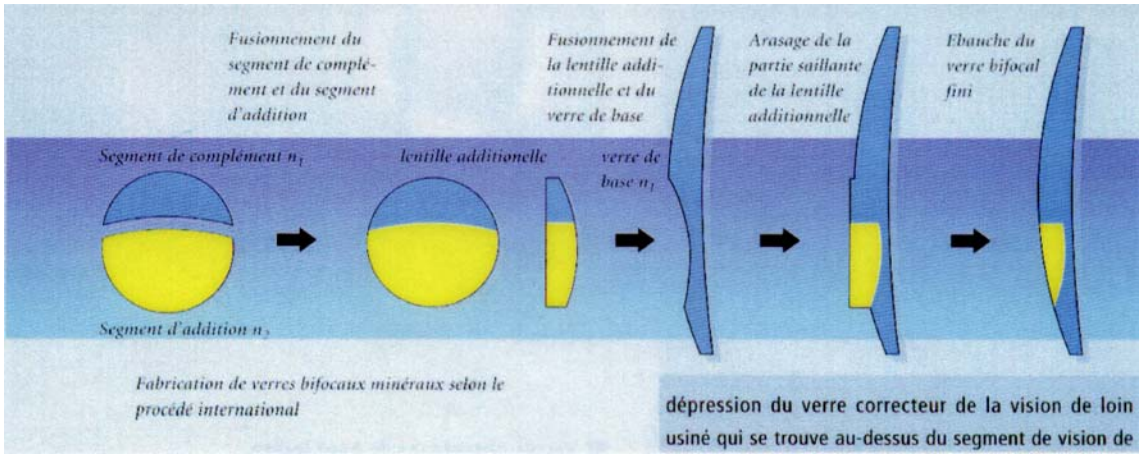
Le contrôle de qualité
Les défauts locaux recherchés sont :

- **les sirops** : provenant d'un mauvais mélange des composants
- **les pierres** : particules opaques provenant de corps étrangers non fusibles ou d'un début de cristallisation.
- **les zones colorées** : résultant d'un mauvais mélange des oxydes

Les défauts étendus d'homogénéité provenant le plus souvent d'une recuisson insuffisante.

Les mesures de laboratoire
mesures de l'indice de réfraction avec un réfractomètre
contrôle de la biréfringence avec un tensiscope ou un polariscope.

Les ébauches pour les verres multifocaux
Les moulages appelés encore « ménisques » ont des formes similaires à ceux utilisés pour les unifocaux.
Les segments de complément sont obtenus par pressage de même verre que celui du ménisque
Les segments pour l'addition ont un indice plus élevé que celui du ménisque. Ils contiennent le plus souvent du baryum.



L’usinage des verres

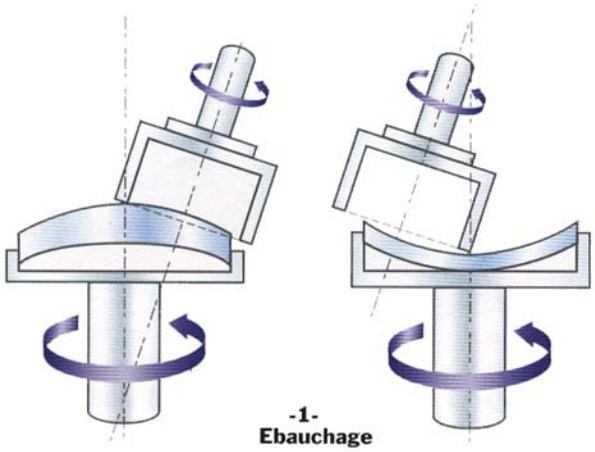
L’usinage consiste à transformer le moulage brut initial en verre solaire ou correcteur ayant les caractéristiques souhaitées. Les surfaces ainsi réalisées seront sphériques, toriques, asphériques, plus rarement planes.

Les trois phases de l’usinage

Chacune d’elles nécessite machines, outils et procédés particuliers.

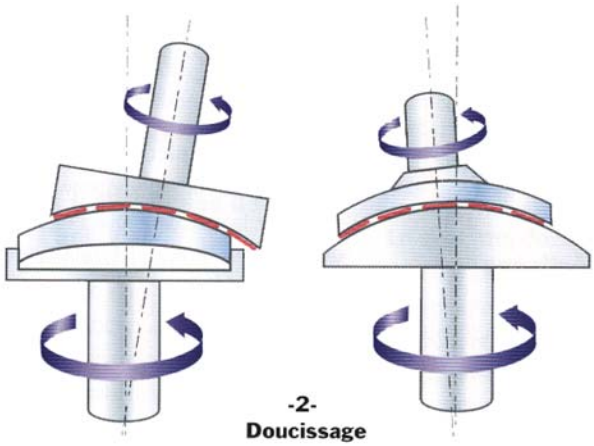
- L’ébauchage

L’opération consiste à usiner le verre avec une fraise à couronne diamantée, pour lui donner l’épaisseur définitive et les rayons de courbure précis.



- Le doucissage

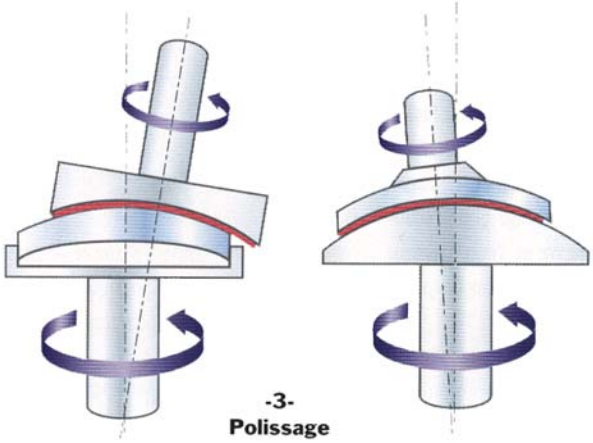
Le principe est d'abraser le verre sur une contreforme en fonte douce ou matériaux plastique qui a le même rayon que l'ébauche. A la fin du doucissage, le diamètre, les courbures et l'épaisseur ont tous la précision requise. Les deux faces du verre sont lisses mais dépolies.



-2-
Doucissage

- Le polissage

L'opération est identique dans son principe à la précédente. La contreforme est recouverte d'un feutre à polir ou d'une pellicule plastique spéciale. Pendant le polissage, très peu de matière est enlevée.



-3-
Polissage

Fabrication du verre organique pour la lunetterie

Quelques définitions :

Thermoplastique

Susceptible d'être, de manière répétée, successivement ramolli par chauffage et durci par refroidissement dans un intervalle de température caractéristique du plastique considéré et, à l'état ramolli, d'être mis en forme par plasticité dans un moule, par extrusion ou par formage.

Thermodurcissable - duroplaste

Se dit d'une matière plastique qui perd définitivement son élasticité sous l'action de la chaleur.

Polymérisation

Procédé de transformation d'un monomère ou d'un mélange de monomères en un polymère.

Le verre organique est d'apparition beaucoup plus récente que le verre minéral.
Les matières organiques peuvent être divisées en deux grands groupes :
les matières **thermoplastiques** qui ont la propriété de se ramollir sous l'action de la chaleur et de pouvoir être formées à chaud ou moulées par injection.

Par exemple le **polyméthacrylate de méthyl** (PMMA) ou Plexiglas utilisé dès 1937 donne des lentilles convenables. Mais il est très peu résistant à l'abrasion et à la chaleur.
Le PMMA est encore utilisé aujourd'hui pour les lentilles de contact.

Le **polycarbonate** est aujourd'hui utilisé pour des lunettes de protection et des lentilles correctrices.

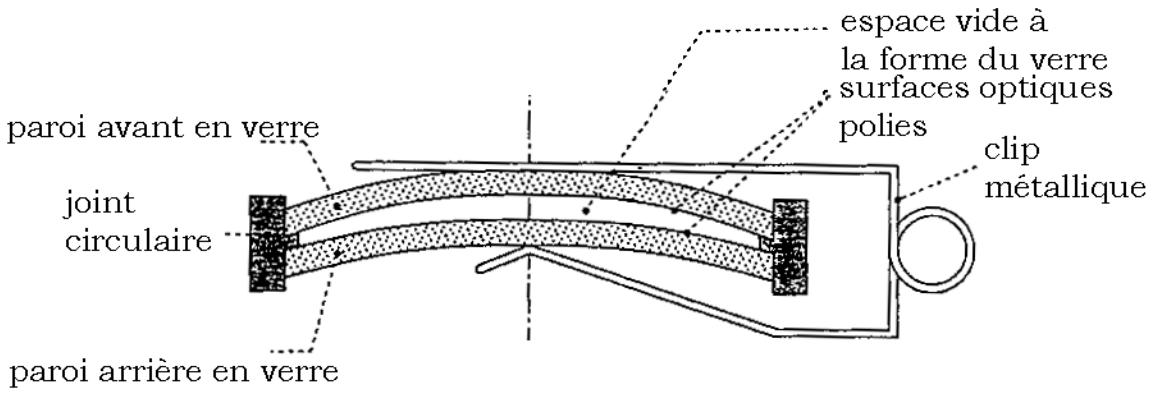
Les matières **thermodurcissables** ont la propriété de se durcir sous l'action de la chaleur et de ne plus pouvoir être ramollies par la suite, même à forte température.
Par exemple le **carbonate de diallyl glycol** plus connu sous le nom de **CR 39**.

Le carbonate de diallyl glycol ou **CR 39**

C'est un dérivé du pétrole appartenant à la classe des polyesters.
Il a été découvert vers 1945 par les chimistes de la « Columbia Corporation » (Pittsburgh, Etats-Unis) d'où il tire son nom puisqu'il fut la « Columbia Resin » numéro 39 d'une série de 170 étudiée. Il fut appliqué à la fabrication des verres correcteurs à partir des années 1960.

Fabrication d'un verre organique (duroplastes)

Le CR 39 est fourni sous la forme d'un monomère liquide qui est coulé dans des moules en verre pour y être polymérisé, c'est à dire durci.



Moule de verre organique en coupe

Les verres organiques sont fabriqués selon deux procédés :

polymérisation directe
polymérisation d'un semi-fini et finition par surfaçage

Fabrication par polymérisation directe

Utilisé pour la fabrication de verres organiques en série, ce procédé consiste à réaliser la polymérisation du monomère dans des moules ayant la forme exacte du verre définitif.
Les différentes étapes sont :

la préparation du monomère

filtrage, dégazage, adjonction d'un catalyseur et d'un absorbant UV

assemblage des moules

ils comportent deux parois en verre minéral qui prennent appui sur un joint en caoutchouc et sont maintenues serrées au moyen d'un clip métallique

remplissage

des moules avec le monomère liquide

polymérisation

les moules remplis sont placés dans des étuves où ils sont soumis pendant 14 à 16 heures à un cycle de températures, qui provoque le durcissement progressif du monomère

démoulage

le joint est enlevé et les parois du moule sont séparées pour libérer le verre dans son état quasi final

recuisson

pour enlever les tensions superficielles

contrôle final

aspect des surfaces et puissances

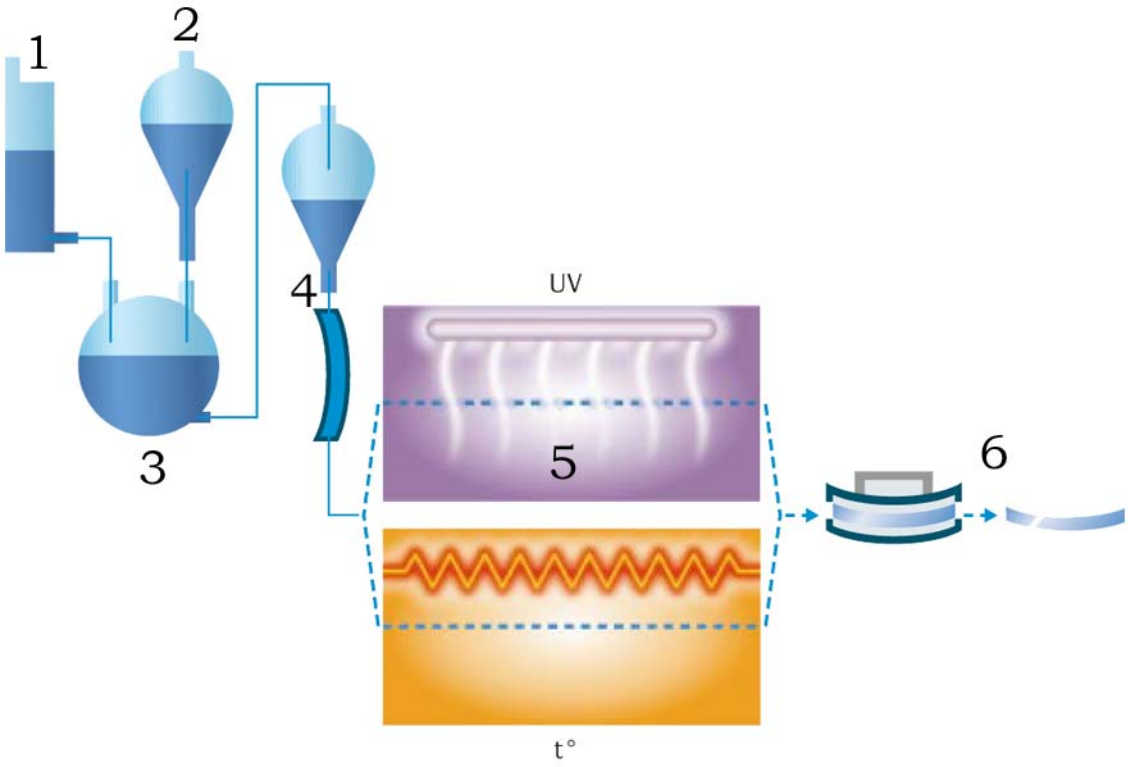


Schéma de fabrication d'un verre organique

1. *Monomère brut*
2. *Catalyseur*
3. *Filtrations*
4. *Remplissage*
5. *Polymérisation*
6. *Démoulage*

Fabrication d'un semi-fini et finition par surfaçage
Pour certains verres organiques de puissance élevée ou à fort cylindre, la fabrication de lentilles terminées pose des problèmes à cause du retrait de la matière en phase de polymérisation. (retrait qui ne peut être compensé par les joints).
On fabrique alors des semi-finis par le processus de polymérisation décrit précédemment : ce sont des verres très épais dont la face avant est terminée et dont la face arrière sera surfacée de la même manière qu'un verre minéral
mais avec des produits abrasifs différents.
La face terminée peut être progressive ou à double foyers.

Les verres organiques(thermodurcissables) d'indice plus élevé sont fabriqués selon le même procédé. Mais deux monomères différents vont s'unir par un processus chimique beaucoup plus lent (48 heures) de polyaddition.

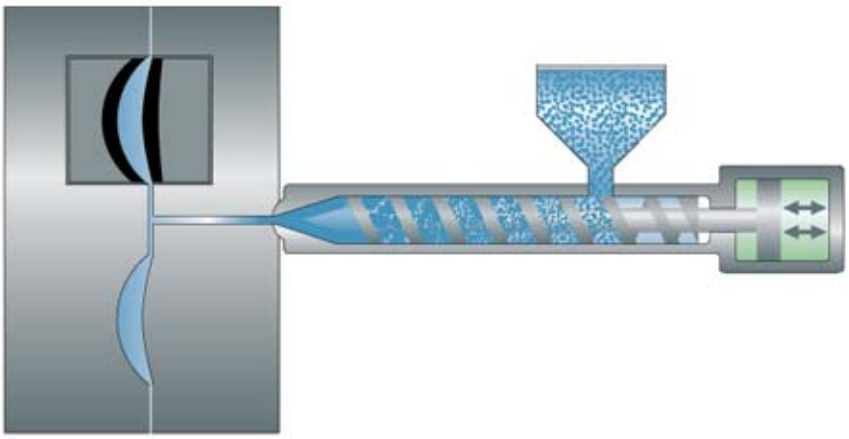
Fabrication d'un verre organique thermoplaste

Le polycarbonate appartient à la famille des thermoplastes.

Il est 20 à 30 % plus léger que le CR 39. Indice élevé : 1.59. Il est 12 fois plus résistant que le CR 39. Il coupe 100 % les UVA et UVB dès 385 [nm].

Note(s) :
Le polycarbonate est généralement utilisé à cause de ses très bonnes propriétés mécaniques et surtout pour son excellente résistance à l'impact. C'est un polymère amorphe ayant une bonne transparence. Il offre une bonne résistance électrique qui est peu réduite en milieu humide. Toutefois, le polycarbonate est sensible aux hydrocarbures qui lui font rapidement perdre sa tenue à l'impact.

Le polycarbonate est un ester de polycarbonique du bisphénol A.
C'est un procédé de polycondensation. A l'état brut, il se présente sous la forme de granulés translucides de 3mm de long . La mise en œuvre du polycabonate se fait par moulage par injection, et faisant passer la matière solide dans des colliers chauffants pour la ramollir.

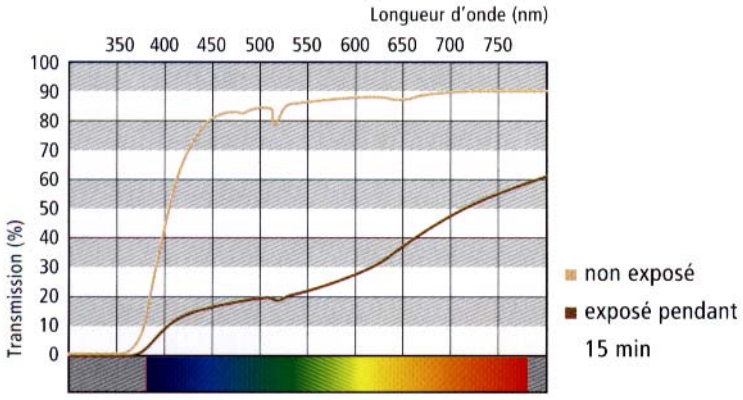


Une vis sans fin pousse la matière dans un moule ayant la forme de la lentille.
Des systèmes de circulation d'eau froide dans le moule abaissent la température de la matière après injection et avant extraction.

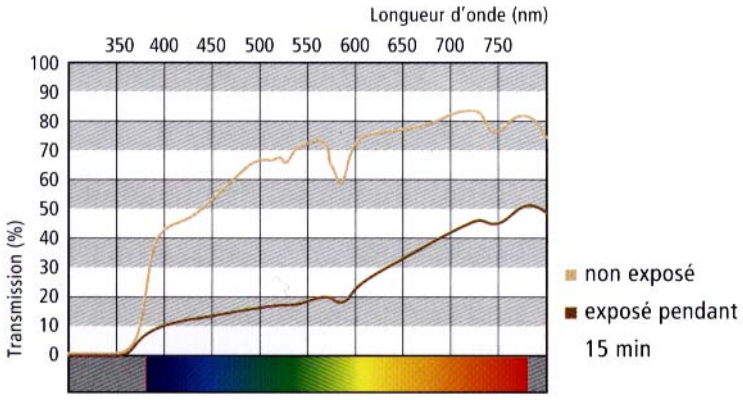
Les verres photochromiques minéraux

Les verres photochromiques ont la propriété de modifier de manière réversible leurs capacités d'absorption selon l'action des rayonnements lumineux.

Transmission des verres photochromiques :
Exemples : transmission des verres Umbramatic SB



Courbes de transmission d'un verre Umbramatic brun



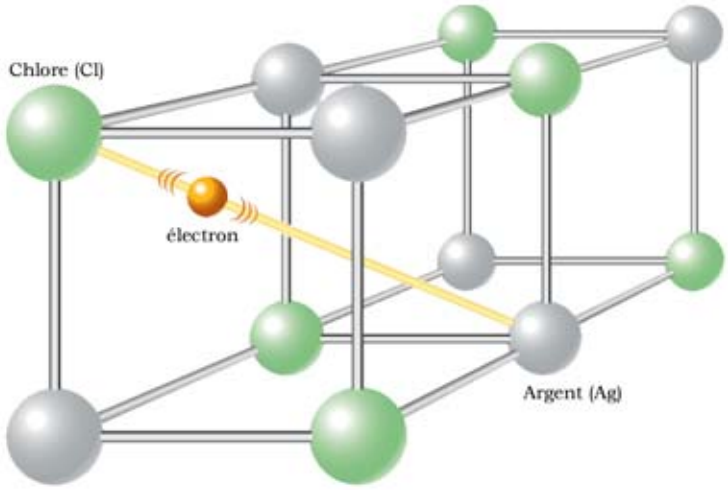
Courbes de transmission d'un verre Umbramatic 35 teinté dans la masse

Composition des verres photochromiques minéraux

La structure vitreuse est très stable : c'est un **borosilicate** à forte teneur en bore ($SiO_2 \approx 56\%$ $B_2O_3 \approx 18\%$) auquel s'ajoute toute une série d'éléments servant à développer dans le verre des **microcristaux d'halogénure d'argent**, responsables du phénomène photochromique. Des ions de cuivre facilitent la réaction en agissant comme catalyseur.

Nature du phénomène photochromique

Le photochromisme correspond à la **modification réversible** des caractéristiques d'absorption



lumineuse de certains matériaux sous l'action du rayonnement lumineux (UV-A notamment).

Le mécanisme élémentaire qui correspond au passage de l'atome d'argent d'un état à l'autre est représenté schématiquement ci-dessous.

Sous l'action des rayonnements UV-A ou des courtes longueurs d'onde du spectre visible, l'atome d'argent modifie sa structure électronique externe en utilisant les électrons rendus disponibles dans la structure vitreuse.
En l'absence de ces rayonnements, le système revient à son état initial.

Dimensions des cristaux

Les dimensions des cristaux doivent être comprises entre 5 et 30 nm.
Les petits cristaux absorbent davantage les courtes longueurs d'onde du spectre visible et donnent une teinte rose à brune par transmission.
Les plus gros cristaux absorbent davantage dans la partie des grandes longueurs d'onde du spectre visible, donnent par transmission une couleur bleue.

Le traitement thermique

Le traitement thermique apporte l'énergie nécessaire à faire naître et grossir les cristaux à partir de gouttelettes colloïdales de bromure et de chlorure d'argent.

Toute la difficulté du traitement thermique réside dans la nécessité d'obtenir **exactement les cristaux en nombre et en taille** qui confèrent au verre des propriétés photochromiques bien définies.

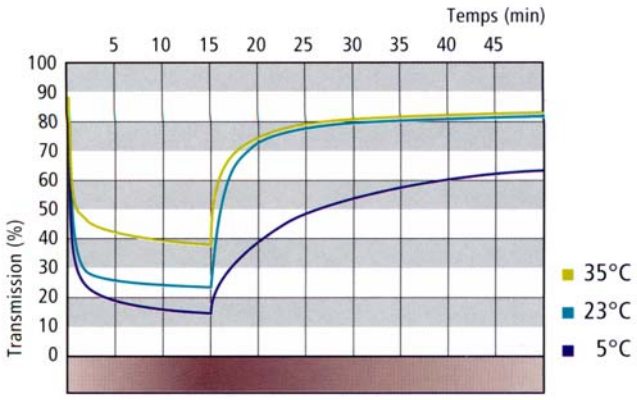
Vitesse des phénomènes photochromiques :

Cinq facteurs sont susceptibles de modifier les paramètres de l'effet photochromique éclaircissement /assombrissement :

- *la température*
- *la lumière*
- *l'épaisseur du verre*
- *la période de rodage*
- *les traitements thermiques*

La température

Lorsque la température diminue, la transmission du verre à l'état assombri diminue.



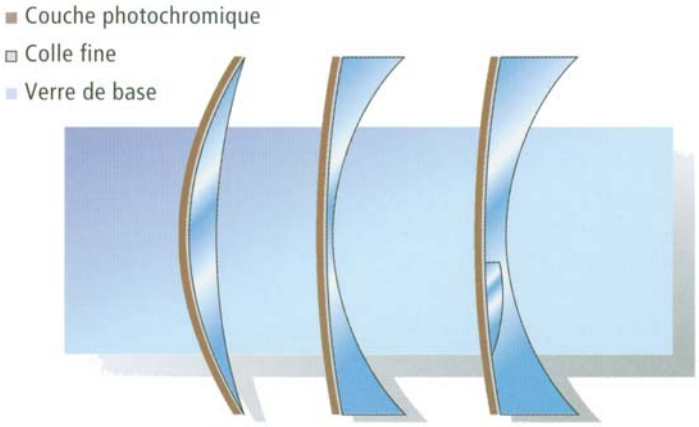
Courbes des taux d'assombrissement et d'éclaircissement
des verres Umbramatic Braun

L'épaisseur du verre

La teinte du verre assombri dépend de l'épaisseur du verre. Les verres de forte puissance n'ont donc pas une teinte uniforme.

verre convexe photochromatique

verre concave photochromatique



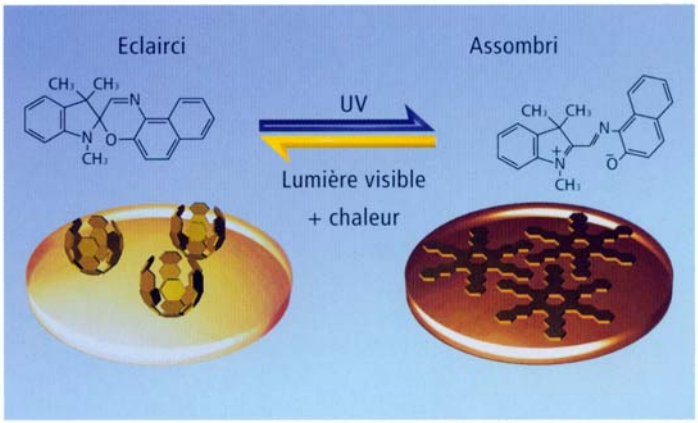
Pour obtenir une coloration indépendante de l'épaisseur, on peut souder sur le verre blanc de base, une couche photochromique (épaisseur 1.3 mm.).

Les verres photochromiques organiques

Les premiers verres organiques réalisés en CR 39, obtenaient des performances de photochromicité très limitées au niveau de la teinte et de la durée dans le temps.

En 1991, Transitions Optical commercialisait la première génération « Transitions » à base d'une résine spécifique de type CR 300 et d'un composant du groupe moléculaire ISN (indolinospironaphtoxazine).
La deuxième génération, le Transitions plus, était élaboré à partir d'une résine CR 307 – et d'un nouveau composant ISN de teinte neutre, offrant des qualités de photochromicité proches de celles du verre minéral.

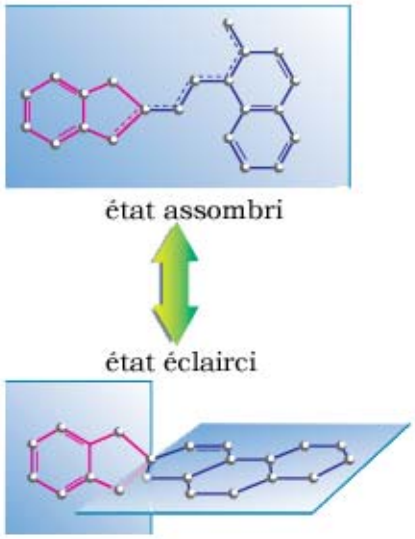
Nature du phénomène photochromique
Le rôle du composant ISN correspond à celui de l'halogénure d'argent utilisé dans la matière minérale.
Lors de l'exposition à la lumière, ce sont les photons UV (300 à 450 nm) qui « cassent » la chaîne moléculaire du composant ISN. Une partie de la structure effectue alors une rotation et lorsqu'elle se trouve dans sa nouvelle position, elle absorbe les parties visibles du spectre lumineux : le verre s'assombrit.



De petites molécules pour un effet monstre: le principe du photochromisme sur les verres de lunettes Photolet de Carl Zeiss

Chaîne moléculaire d'indolinospironaphthoxazine

Lorsque l'énergie UV disparaît la structure reprend sa forme d'origine et n'absorbe plus la lumière visible.

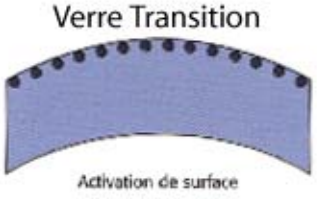


Fabrication du verre photochromique organique.

Il existe deux façons de fabriquer des verres photochromiques organiques.
Soit on a une couche photochromique sur la face avant, méthode des verres Transition, soit dans la matière, méthode des verres Corning.

Verres transitions

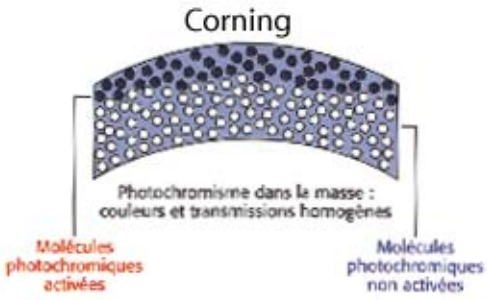
Le monomère, sans pigments, est envoyé au fabricant de verres qui le moule selon la forme désirée.
Le produit une fois polymérisé est envoyé à Transitions Optical qui y incorpore les pigments photochromiques dans toute la **surface avant** du verre à une profondeur de 0.15 mm, afin de faire partie intégrante de la structure du verre .



Etant donné que les molécules ne sont localisées qu'à la surface du verre, le verre s'assombrit uniformément sur toute sa superficie, indépendamment de la puissance dioptrique.
Dès la fin du procédé d'imprégnation, le verre s'active s'il est exposé à la lumière. Aucun délai de « rodage » n'est nécessaire.
La dernière étape de la fabrication consiste en l'application d'un traitement antirayures.

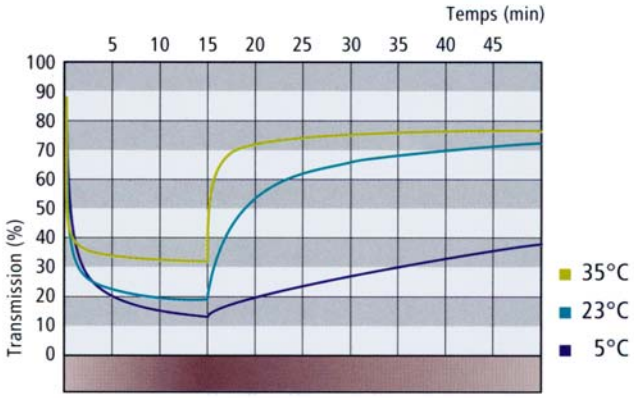
Verres Corning

Grâce à la technologie photochromique dans la masse, ces verres ont une grande longévité dans le temps, ainsi qu'une excellente stabilité des couleurs.
Comme les molécules photochromiques proches de la surface externe absorbent la majeure partie des rayons UV nécessaires pour les activer, le matériau donne au verre une couleur et une transmission uniformes, même en cas de forte prescription.



Influence de la température

Comme le verre photochromique minéral, le verre photochromique organique réagit en fonction de la température.



Assombrissement et éclaircissement d'un verre Photolet brun exposé à un rayonnement conformément aux normes DIN EN ISO 8980-3

Vitesse d'activation et d'éclaircissement
des verres Transitions

Tandis que la chaleur affecte la capacité d'assombrissement du substrat traité, les UV peuvent diminuer la durée de vie du photochromique organique. Plus la pénétration se fait en profondeur, plus la longévité du produit est importante.

Propriétés des verres de lunettes

Les propriétés optiques et physiques des verres de lunetterie

L'indice de réfraction

Déf :
Indication numérique qui sert à exprimer le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse de la lumière dans le milieu de propagation.

En optique oculaire, les indices de réfraction sont généralement donnés pour l'une des longueurs d'onde suivante :

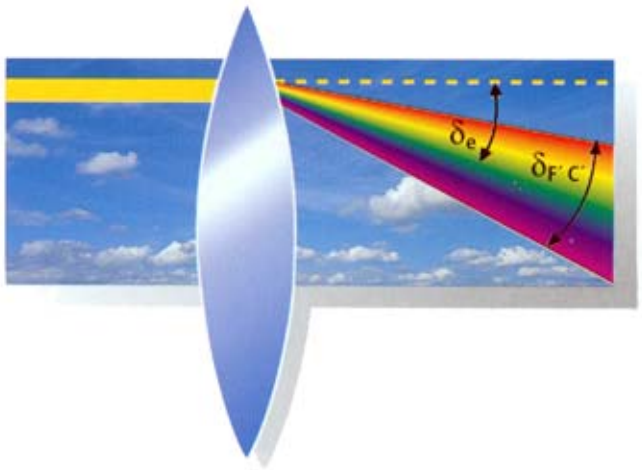
n_e raie verte « e » du mercure $\lambda = 546.1$ nm
n_d raie jaune « d » de l'hélium $\lambda = 587.6$ nm

Pour les verres de lunetterie, les indices de réfraction varient de 1.5 à 1.9.
Des indices de réfraction plus élevés permettent d'obtenir des courbures plus plates des verres.

Le facteur de constringence ou nombre d'Abbe

Déf :
Nombre positif (v) caractérisant le pouvoir dispersif d'un milieu transparent.

Le facteur de constringence ou nombre d'Abbe est le rapport entre la déviation pour la raie e ou d du spectre et la dispersion pour les raies extrêmes F (bleue) et C (rouge)

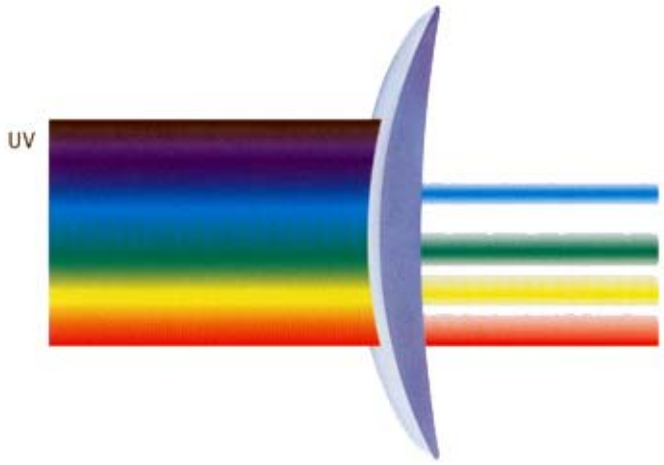


$$\nu = \frac{n_e - 1}{n_{F'} - n_{C'}} = \frac{\delta_e}{\delta_{F'C'}}$$

Plus le nombre d'Abbe est bas, plus la dispersion chromatique est importante.
Généralement, plus l'indice d'un verre est élevé, plus le nombre d'Abbe est faible.

La transmission

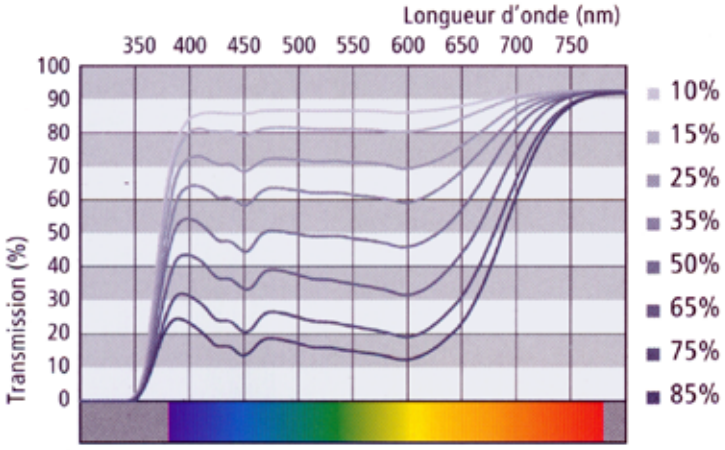
Déf :
Passage d'un rayonnement à travers un milieu, sans changement de longueur d'onde.



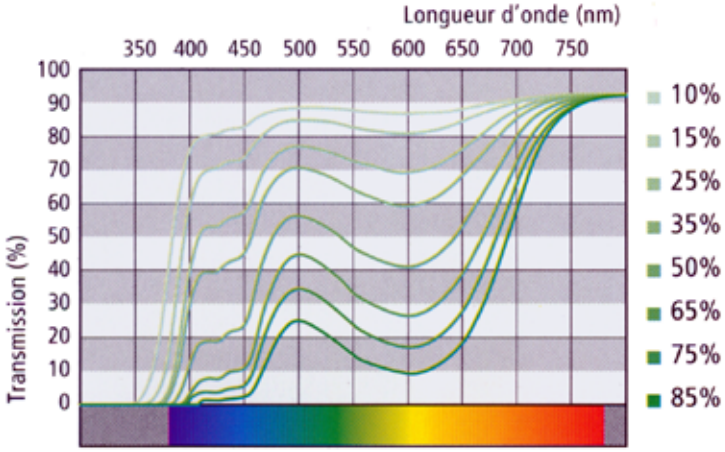
Pour une longueur d'onde donnée, la transmission est le quotient du flux lumineux transmis ϕ_t sur le flux lumineux incident ϕ_i.

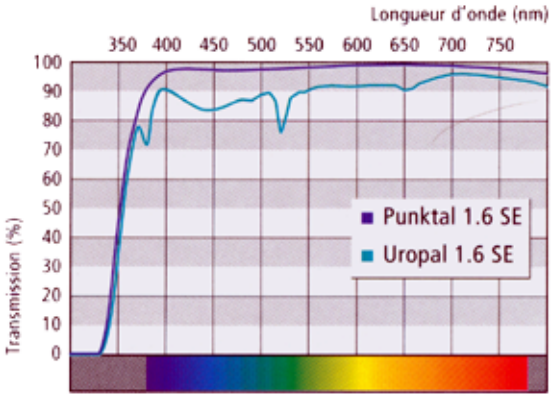
$$T = \frac{\phi_t}{\phi_i}$$

Le facteur de transmission varie avec la longueur d'onde. La variation de ce facteur en fonction de la longueur d'onde est représentée par la courbe de transmission.
Une valeur importante est la limite de transmission du rayonnement ultraviolet.



Courbes de transmission d'un verre Clarlet gris

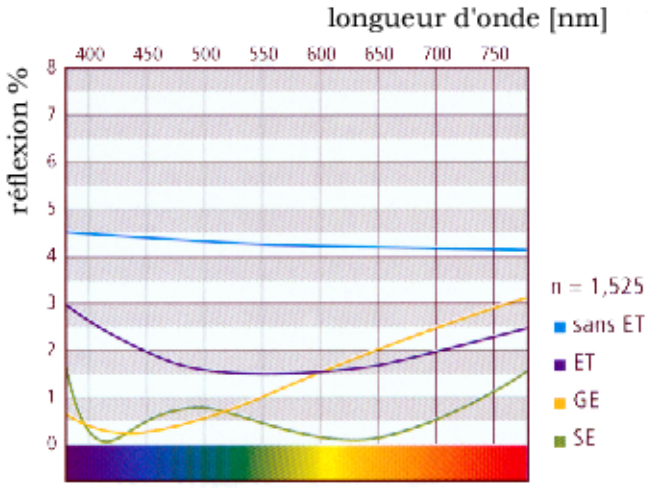




Courbes de transmission des verres
Punktal 1.6 Super ET et Uropal 1.6 Super ET

La différence de valeur de flux lumineux transmis et de flux incident provient :

- *de l'absorption intrinsèque du verre (qui est négligeable pour un verre blanc de lunetterie)*
- *des pertes par réflexion sur les deux faces du verre*



Pour les verres organiques la limite de transmission des UV est de 350 nm grâce à l'adjonction d'Uvinol dans le monomère.

La masse volumique

Pour un verre minéral en crown d'indice 1.523

2.5 g/cm^3

Pour un verre organique CR 39 d'indice 1.5

1.32 g/cm^3

Pour un verre polycarbonate d'indice de 1.56

1.2 g/cm^3

Comparaison des propriétés des verres

	Indice de réfraction	Nombre d'Abbe	masse volumique g/cm^3	Limite UV en nm	Remarques
Verres Minéraux	1.525	59	2.53	280-320	limite UV basse verre standard
	1.6	41 - 44	2.6 -.2.75	334-360	
	1.7	39 - 41	2.67 - 3.2	326-340	
	1.8	33 - 35	3.47 - 3.65	332	
	1.9	30	4	340-353	poids - nombre d'Abbe bas
Photochromiques	1.523	58	2,39	335	
	1.604	45	2.80	330	
Verres Organiques	1.5	58	1.32	350	
	1.55-1.58	36 - 38	1.08-1.23	350-380	très léger
	1.58	36	1.36	380	
	1.59	31	1.2	385	nombre d'Abbe bas
	1.6	36 - 40	1.3 - 1.36	370-380	Polycar-bonate se raye facilement
	1.66 -1.7	31 - 32	1.35- 1.37	380	nombre d'Abbe bas
	1.7	36	1.4	380	
Photochromiques	1.5	58	1.29	380	
	1.56	37	1.20	390	

Propriétés mécaniques des verres de lunetterie

Résistance aux chocs : résilience (rupture)

Les verres minéraux ont une élasticité et une résistance aux chocs, faibles.
Pour augmenter la résistance à la traction et aux chocs, on peut au moyen d'un traitement thermique ou chimique (trempe) créer une couche superficielle en compression.
Généralement plus l'indice de réfraction du verre est élevé, plus le verre est cassant.

Les verres organiques tel l'Orma résiste au choc d'une bille d'acier de 16 g tombant d'une hauteur de 2m (selon la FDA limite 1.27m)

Le polycarbonate a une résistance aux chocs très élevée (env. 5 à 12 fois supérieure à celle de l'organique). On le considère comme un verre de sécurité.

Dureté

La dureté d'un verre minéral en crown est de l'ordre de 6 (orthose) de l'échelle de Mohs.
Le verre minéral résiste bien aux rayures.

Le verre organique résiste mal aux rayures mais il est possible de protéger les surfaces des verres organiques par des traitements durcissants.

Le polycarbonate a une très faible résistance aux rayures. Les traitements anti-rayures n'ont pas tous la même efficacité.

Le coefficient de dilatation thermique

Le faible coefficient de dilatation permet aux verres minéraux de subir sans dommage les traitements sous vide (coloration – antireflet), qui les exposent à des cycles de haute température.

Conductibilité thermique

Le verre minéral conduit mal la chaleur. Cette propriété est utilisée lors de la trempe des verres minéraux.

Propriétés chimiques des verres de lunetterie

Verres minéraux
Exposés aux intempéries les verres, même les plus sensibles, ne se modifient que lentement.
Les verres minéraux résistent bien aux acides et aux solvants.
Par contre, le comportement des verres à l'usage dépend du poli de sa surface, des couches déposées sous vide et des impuretés de l'atmosphère.

Verres organiques
Les verres organiques résistent aux solvants usuels : benzine, alcool, acétone etc.
Les verres organiques sont attaqués par les hydroxydes (hydroxyde de sodium) et par l'acide sulfurique.

Le polycarbonate
Le polycarbonate ne supporte pas les solvants (acétone)
Il est conseillé de le nettoyer avec le l'alcool isopropylique.

Les couches de traitements changent les propriétés des verres de lunettes

	Verre minéral	**Verre organique**
Dureté	Dureté selon Mohs env. 6 (crown)	Très tendre, verre sensible aux rayures ➔ couche durcissante (souvent oxyde de silicium)
Résistance à la rupture	Plus l'indice est élevé, plus le verre est cassant Les verres peuvent être durcis (trempe chimique ou thermique) ➔ verres de protection : normes SUVA	Résistance à la rupture 20x plus élevée Peu d'éclats ➔ bonne sécurité ➔ lunettes d'enfants Polycarbonate: très tenace ➔ Idéal pour les lunettes percées
Résistance aux griffures	Bonne	Mauvaise Polycarbonate ➔ résistance aux griffures analogue par polymérisation d'une couche de crown sur la face antérieure
poids- masse volumique	Verres lourds, selon leur puissance	Verres super légers (masse volumique dès 1.08 g/cm^3)
Volume **Epaisseur**	Selon l'indice Verres trempés: épaisseur minimum 2 mm Pour des puissances très fortes.: indices 1.8 et 1.9 ➔ verres minces	Selon l'indice Epaisseur au centre au moins 2mm (stabilité)
Conductibilité Thermique	Mauvaise ➔ buée	Bonne ➔ moins de buée
Température de ramollissement	Pas de problèmes lors du façonnage	Les verres haut indice ont un point de ramollissement bas. Echauffement supérieur à 80°, les traitements AR peuvent s'arracher.

	Verre minéral	**Verre organique**
Propriétés électriques	Pas de conductibilité	Les matières plastiques peuvent présentées des charges électriques
Limite UV	Limite UV pas optimale Choisir des verres avec une limite UV élevée	Meilleure protection aux UV Protection UV optimale avec une couche UVX
Nombre d'Abbe	Selon le matériau	Selon le matériau
Transparence	Bonne	Selon le matériau