



CAHIERS D'OPTIQUE OCULAIRE

1.

Verres Ophtalmiques : les matériaux





cahiers d'optique oculaire

1. LES VERRES OPHTALMIQUES
LES MATERIAUX

Les verres ophtalmiques

CHAPITRE I Les matériaux

1/ Le verre minéral

- **Composition. Définition** _____ p. 7
- **Fabrication d'un verre optique** _____ p. 7
 - procédé cyclique,
 - procédé continu,
 - dalles ou palets.
- **Propriétés optiques** _____ p. 9
 - l'indice de réfraction,
 - le pouvoir dispersif,
 - l'homogénéité,
 - transparence.
- **Propriétés mécaniques** _____ p. 9
 - densité,
 - dureté,
 - résistance aux chocs.
- **Propriétés chimiques** _____ p. 13
 - résistance aux agents chimiques.
- **Les différents types de verres utilisés en optique oculaire** _____ p. 13
 - classification selon les indices,
 - classification selon les propriétés absorbantes.
- **Usinage du verre minéral** _____ p. 21
 - ébauchage,
 - douci,
 - poli,
 - nature des surfaces réalisées en optique ophtalmique,
 - usinage en série ou à la pièce.
- **Le verre minéral, conclusion** _____ p. 22

2/ Le verre organique

- **Le méthyl méthacrylate** _____ p. 23
 - propriétés,
 - fabrication,
 - inconvénients et avantages du méthacrylate .
- **Le carbonate de diallyl glycol** _____ p. 25
 - propriétés du polymère.
- **Fabrication des verres en matière organique** _____ p. 29
 - fabrication par polymérisation directe,
 - polymérisation d'un semi-fini puis finition par surface.

Réaliser la lunette de l'amétrope ou du presbyte implique que l'on dispose d'une large gamme de moyens, afin de sélectionner ceux qui satisfont au mieux à la double exigence :

- produire et conserver les résultats prévus par la formule prescrite ;
- être adaptés aux données spécifiques morphologiques et psychologiques de la personne à laquelle elle est destinée.

Ces moyens sont essentiellement :

- les instruments de mesure
- les verres de lunettes
- les montures

Le verre de lunette est constitué par un matériau transparent, auquel il a été donné une forme et des dimensions calculées pour que la combinaison résultante produise sur la lumière les effets désirés.

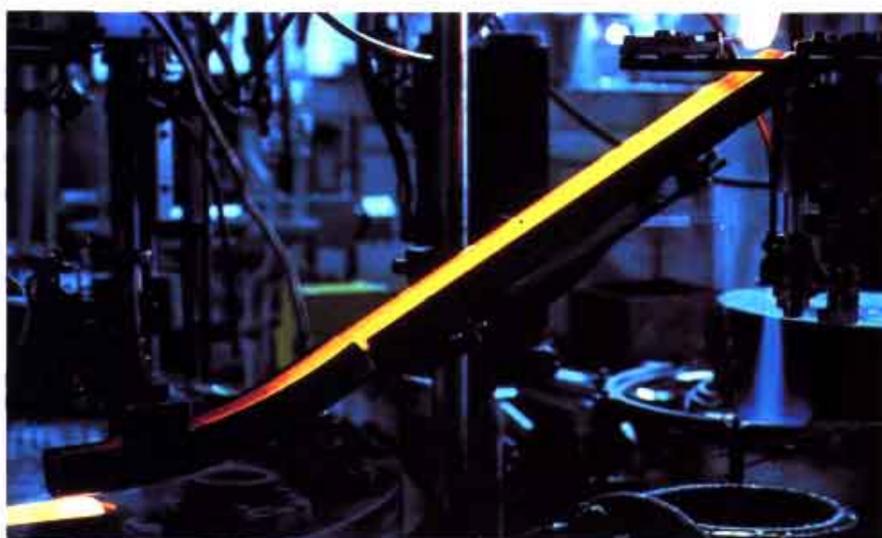
Le matériau transparent est : le verre minéral ou le verre organique ; chacun d'eux apportant, à côté de propriétés optiques voisines, des propriétés mécaniques spécifiques et leur étude fait l'objet de ce premier chapitre.

Composition approximative des principaux verres utilisés en optique

	CROWN	FLINT	BORO SILICATE
Silice (SiO_2)	73,6 %	56,6 %	67,3 %
Alumine (Al_2O_3)	1,0	1,4	1,7
Oxyde de calcium (CaO)	5,2	—	—
- de magnésium (MgO)	3,6	—	0,2
- de sodium (Na_2O)	16,0	4,0	4,6
- de potassium (K_2O)	0,6	8,0	1,0
- de plomb (PbO)	—	30	—
- de bore (B_2O_3)	—	—	24,6

Les verriers peuvent jouer entre les extrêmes, de la Silice fondue (silice pure, transparente à L'UV) au verre sans silice ou en faible proportion, comme les verres à haute teneur de plomb (81 %), opaque aux rayons X.

*procédé continu



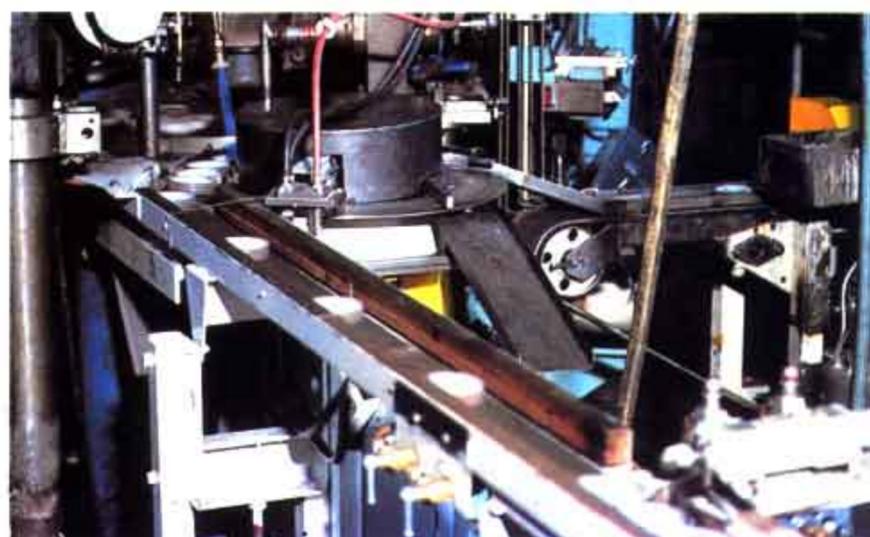
coulée du verre en fusion



refroidissement du palet



coulée d'un palet



sortie des moulages

Photos Corning France

1. le verre minéral

composition

C'est un matériau très particulier, ni gaz, ni liquide, ni solide (les 3 états de la matière) résultant de la fusion à haute température d'un mélange inorganique qui ne cristallise pas au refroidissement (amorphe).

définition

L'élément de base du verre minéral usuel est la Silice (SiO_2) qui entre pour 65 à 80 % dans la composition du mélange. (En France le sable blanc de Fontainebleau, très pur, contient 99 % de Silice).

Les autres constituants sont très divers. Les principaux utilisés pour fabriquer le verre optique sont :

La Soude (carbonate ou sulfate), la potasse (d°), la chaux (calcaire), le plomb (oxyde de plomb ou minium), acide borique (borate de soude) et très récemment le titane (oxyde de titane) et le niobium.

Des sels métalliques sont incorporés au mélange pour produire des verres absorbants : Nickel et Cobalt (pourpres) ; Cobalt et Cuivre (bleus) ; Chrome (vert) ; Fer, Charbon, Cadmium (jaunes) ; Or, Cuivre, Sélénium (rouges).

Les terres rares, néodyme, didyme, praséodyme donnent des propriétés absorbantes sélectives.

fabrication d'un verre optique

● procédé cyclique (ancien)

Jusqu'à ces dernières années, le verre d'optique était fabriqué de façon artisanale et discontinue.

Dans un pot ou creuset en terre réfractaire, dont la construction (façonnage à la main, séchage) était longue et délicate, les éléments du mélange étaient amenés à l'état de fusion (1500°C).

Un affinage, consistant à favoriser le dégazage et éviter la formation de bulles, était obtenu par un brassage mécanique du mélange, régulier et continu pendant toute la durée de la fusion.

Puis on laissait ensuite refroidir lentement le mélange jusqu'à ce que sa viscosité soit compatible avec le moulage des objets désirés, ou pour couler des plaques dans lesquelles étaient ensuite taillés les morceaux destinés à être ultérieurement moulés.

Une tradition longue de plusieurs siècles voulait que, seule, une telle méthode pouvait conduire à un verre homogène et sans défaut. Les nouveaux procédés montrent qu'il n'en est rien.

● procédé continu*

Les très grandes quantités de pièces à produire, autant que la recherche de la rentabilité de ce type de production, ont amené les verriers à mettre au point une production en continu.

Un même matériel reçoit à une extrémité les composants du mélange et à l'autre en sortent les moulages.

Toutes les opérations de mélange des composants, fusion, affinage, refroidissement, moulage, recuit des moulages, se font dans les différentes parties d'une immense machine.

Les pièces produites ont toutes les qualités exigées du matériau dans lequel seront ensuite surfacés les verres optiques.

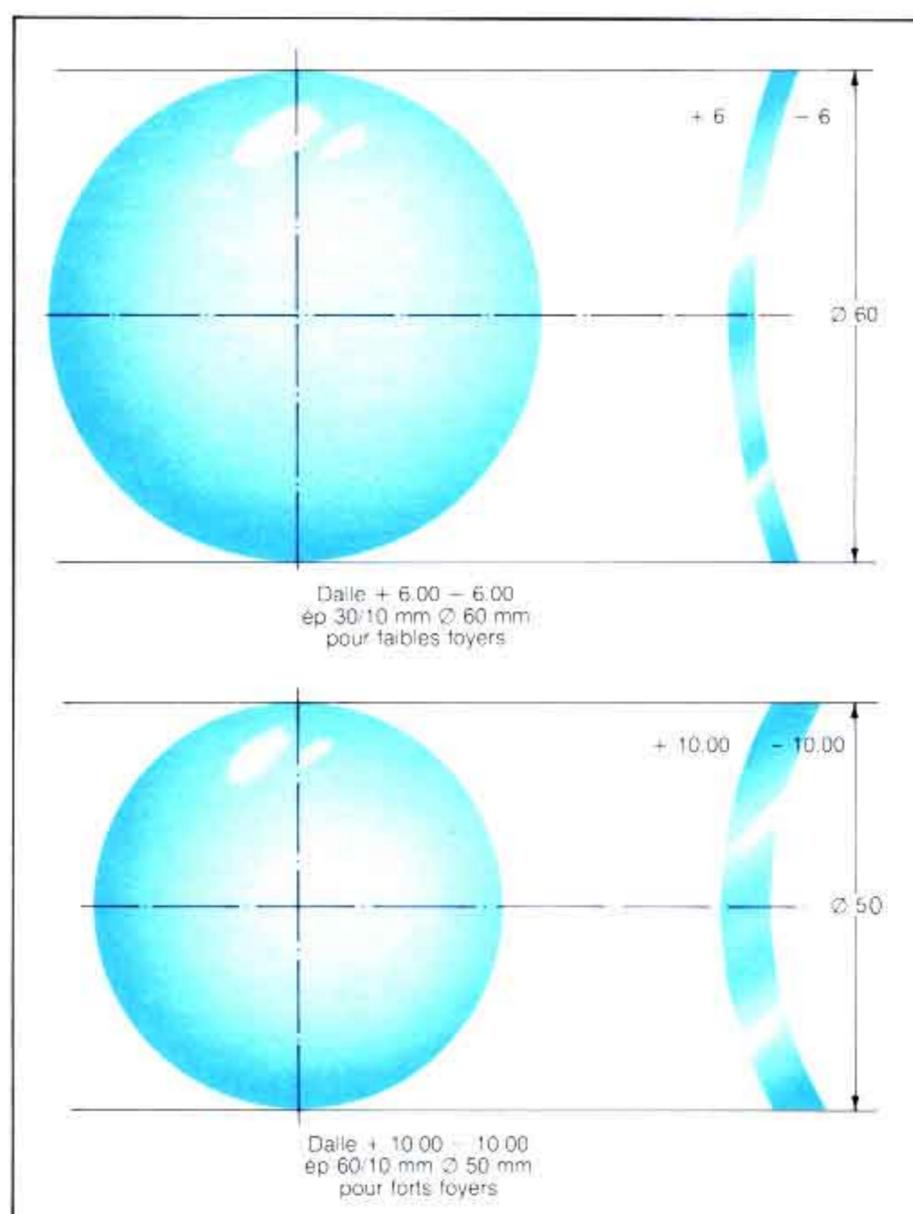
Les verres spéciaux, certains verres absorbants, sont encore fabriqués par l'ancienne méthode.

● dalles ou palets

Les moulages réalisés en bout de chaîne sont obtenus en comprimant une petite quantité de verre encore visqueux entre les 2 matrices d'un moule en fonte aux courbures convenables.

Ils sont refroidis lentement puis recuits pour faire disparaître les tensions de moulage.

Destinés à l'optique ophtalmique, ils s'appellent dalles ou palets. Leurs formes, diamètres, épaisseurs sont aussi variés qu'exige une production rationnelle de ces verres.



indice de réfraction

- absolu
- relatif à l'air

Si V_0 et V_1 sont les vitesses de la lumière dans le vide et dans un milieu 1, l'indice absolu (par rapport au vide) est défini par le rapport

$$N = \frac{V_1}{V_0}$$

Si le milieu 1 est l'air

$$n_{\text{air}} = \frac{V_{\text{air}}}{V_0}$$

de sorte que l'indice relatif à l'air est

$$n = \frac{N}{n_{\text{air}}} = \frac{V_1}{V_{\text{air}}}$$

C'est cet indice qui est habituellement considéré, toutes les mesures étant faites dans l'air.

Lumière monochromatique indice pour une longueur d'onde

La lumière blanche est complexe et composée d'une infinité de radiations monochromatiques (d'une seule couleur et indécomposables), caractérisées par leur longueur d'onde, λ mesurée en nanomètre ($\text{nm} = 1$ milliardième de mètre) ou en micron ($\mu = 1/1000$ mm) ou en angström ($\text{\AA} = 1/10\,000$ μm). La lumière blanche visible est composée de radiations comprises entre le violet = $0,4\mu$ et le rouge $0,8\mu$.

A chaque radiation correspond une vitesse de propagation V_λ , donc un indice n_λ .

dispersion, pouvoir dispersif

Un indice peut être mesuré pour chacune des radiations de la lumière blanche. Il suffit d'utiliser une source de lumière monochromatique, soit la lumière jaune du sodium, soit les raies d'une lampe à vapeur de mercure, ou d'hydrogène ou d'autres sources émettant ce type de lumière.

A l'aide d'un appareil spécial (réfractomètre), on mesure l'indice pour les radiations que l'on désire, par exemple, pour les raies F (bleues) et C (rouges) de l'hydrogène, pour la raie D (jaune) du sodium. Soit respectivement n_F , n_C , n_D .

La dispersion entre les raies F et C s'exprime par :

$$n_F - n_C$$

Le pouvoir dispersif est la dispersion rapportée à l'indice moyen du sodium.

$$\frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$$

Dans les calculs, c'est l'inverse de cette quantité qui intervient, notamment dans les calculs du chromatisme.

$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

relation n (indice) et V (constringence)

Un indice élevé s'accompagne généralement d'un fort pouvoir dispersif (faible V). Il y a là une incompatibilité que les verriers s'efforcent de surmonter.

Par exemple pour les crown n de 1,48 à 1,54 V va de 68 à 62 ; pour les flint denses, n de 1,60 à 1,65, V va de 40 à 35.

Récemment ont été créés des verres au titane ($n = 1,706$ $V = 30$) mais aussi en titane + niobium* ($n = 1,706$ et $V = 40$). Ce dernier matériau est particulièrement performant.

* Le niobium est un corps métallique simple découvert en 1801 par l'Anglais Charles Hatchett qui l'appela le Colombium. C'est un métal très rare dont les propriétés sont voisines de celles du tantale.

poids atomique : 92,91

densité : 8,57

point de fusion : 2 470 °C

propriétés optiques

La composition de chaque type de verre est déterminée surtout pour fixer les 2 grandeurs qui jouent le rôle essentiel dans le cheminement de la lumière qui le traverse :

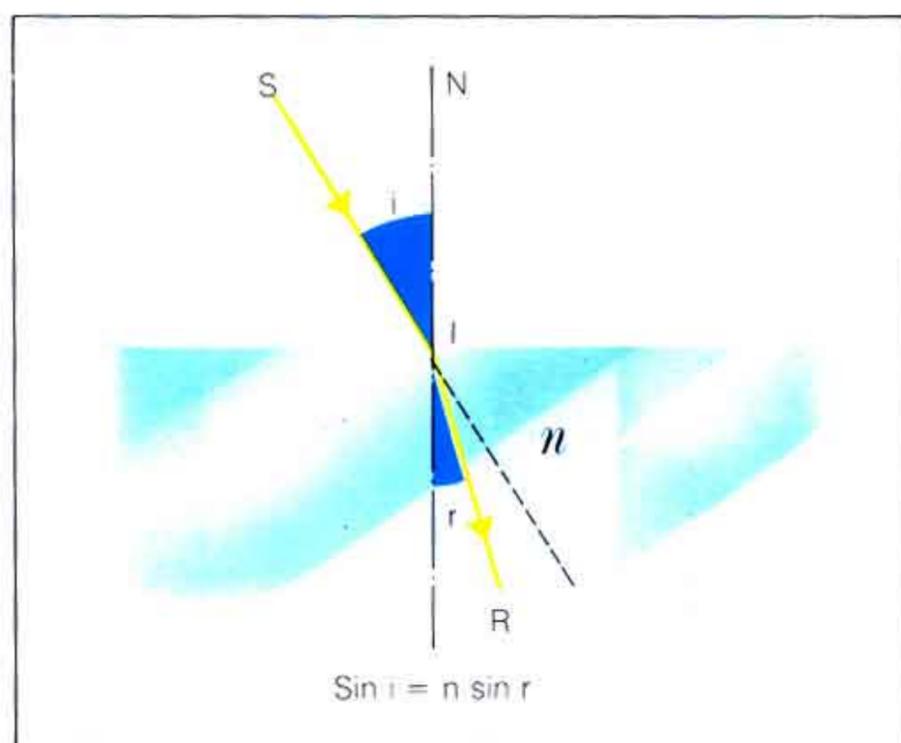
- l'indice de réfraction ;
- le pouvoir dispersif ou son inverse, V

● l'indice réfraction.

(on dit seulement l'indice).

C'est un nombre, compris entre 1,4 et 1,8 pour les verres usuels, qui permet de quantifier la déviation d'un faisceau lumineux au passage de l'air dans ce milieu et inversement.

Pour une même incidence, plus l'indice d'un milieu est élevé, plus la lumière qui y pénètre est déviée dans son trajet.



● le pouvoir dispersif

Le pouvoir dispersif est une caractéristique importante en optique oculaire, car c'est d'elle que dépendent les irisations (chromatisme) qui entourent les objets vus au travers des verres relativement puissants (myopes et hypermétropes forts) et dont se plaignent les porteurs, par ailleurs plus ou moins sensibles à leurs effets.

● homogénéité

Les indices, mesurés pour les différentes radiations, sont connus avec une très grande précision.

Par exemple pour un certain flint léger, pour $\lambda = 589,32 \text{ nm}$ $n = 1,58038$ il en est de même des dispersions moyennes et du pouvoir dispersif ($n_F - n_C$) = 0,011391.

Il est alors indispensable, pour que ces chiffres aient un sens, que le verre soit homogène.

Cette propriété est obtenue à la fabrication par un mélange et un brassage continu et régulier du verre en fusion à 1 500 °C environ (guinandage).

● transparence

Le verre blanc optique est très transparent à la lumière visible. Pour une incidence normale et sous une épaisseur de 1 cm, un crown optique donne les transmissions suivantes (si on ne tient pas compte des réflexions) :

en nm	396	415	425	500
%	0,986	0,985	0,993	0,993

Il absorbe les UV inférieurs à 300 nm et les IR à 3 500 nm.

propriétés mécaniques

● densité

L'un des critères fondamentaux auquel une lunette doit satisfaire est le confort. Celui-ci est fortement conditionné par le poids des verres, et d'autant plus qu'ils sont plus puissants et plus grands.

La densité est donc une caractéristique très importante du matériau dans lequel sont taillés les verres. Elle dépend des oxydes entrant dans la composition.

crown ordinaire $d = 2,53$
flint de 2,9 à 6,3
titane + niobium = 2,99

● dureté

Bien que fragile le verre est très dur. Pour le rayer il faut des matériaux plus durs que lui : des aciers, le carbure de titane, les dérivés du zirconium et surtout le diamant que l'on utilise pour le découper.

Après un usage assez long, ou un manque de précautions élémentaires — lunette sans étui en contact avec des objets durs —, les verres de lunettes bien polis et bien nets à l'origine peuvent être frayés, c'est-à-dire comporter de nombreuses petites rayures, peu profondes qui diffusent la lumière, altérant la transparence et la qualité des images.

● résistance aux chocs

On désigne ainsi la faculté du verre à subir, sans se briser, l'impact d'un corps dur, tel qu'il peut en recevoir dans de nombreuses circonstances de la vie courante, activités enfantines, sportives, professionnelles, conduite automobile.

Pour évaluer le degré de résistance d'un verre de lunette, une méthode de mesure a été normalisée dans de nombreux pays dont l'Allemagne, les États-Unis, la France, la Grande-Bretagne.

Elle consiste à laisser tomber une bille en acier sur la face convexe du verre, d'une certaine hauteur, et d'observer si ce verre casse ou non.

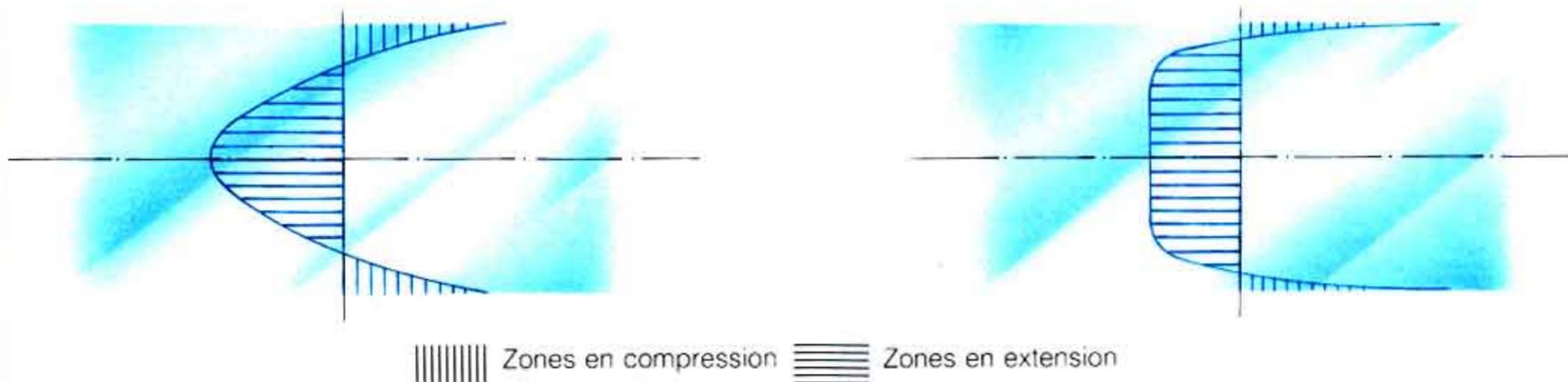
Sous les épaisseurs usuelles en optique oculaire (surtout dans le cas des myopes), le verre se brise sous le choc d'une bille de 16 g tombant de quelques dizaines de cm. Il résiste mal aux chocs et ne garantit pas la sécurité à son porteur.

complément

Diagrammes comparatifs des contraintes

dans la trempe thermique

et la trempe chimique

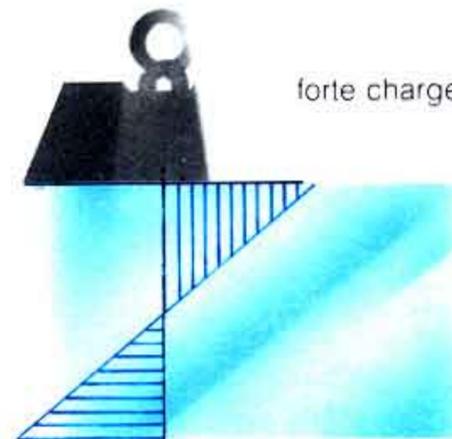
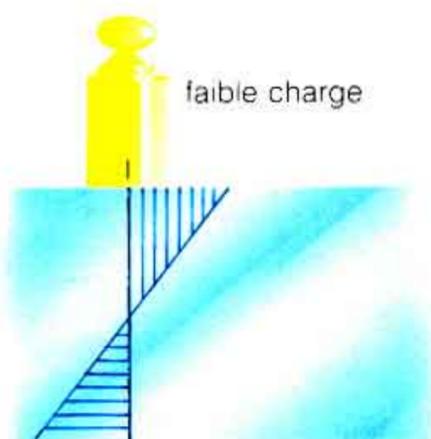
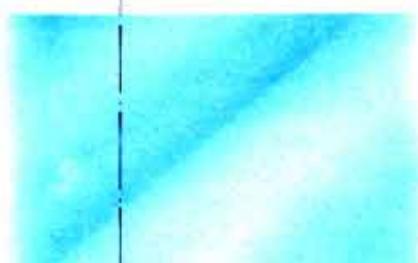


Diagrammes des contraintes subies par la section médiane d'une dalle de verre posée sur 2 appuis

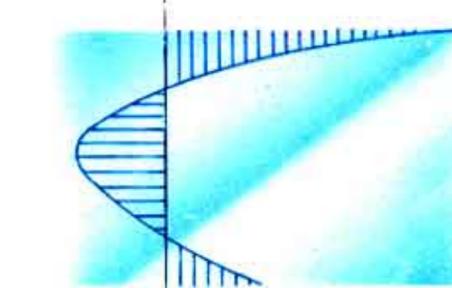
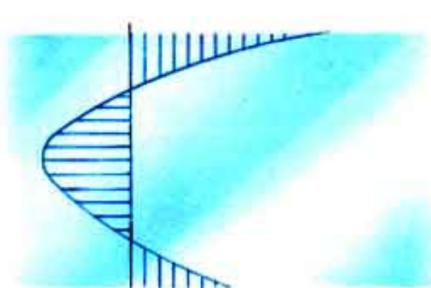
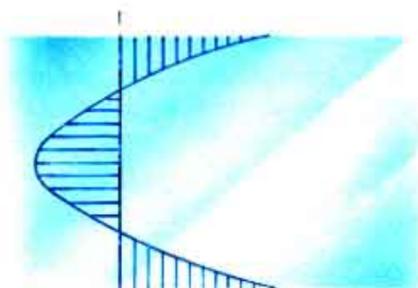
non chargé

faible charge

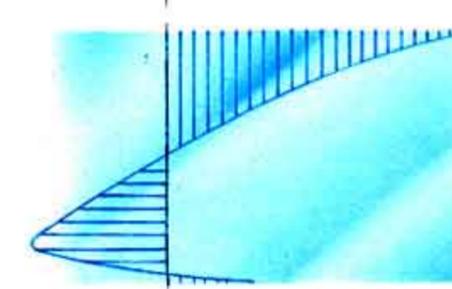
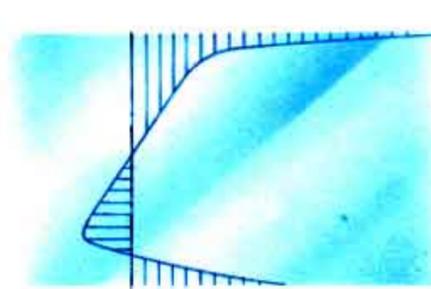
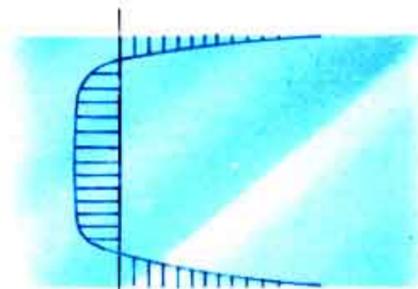
forte charge



non trempé



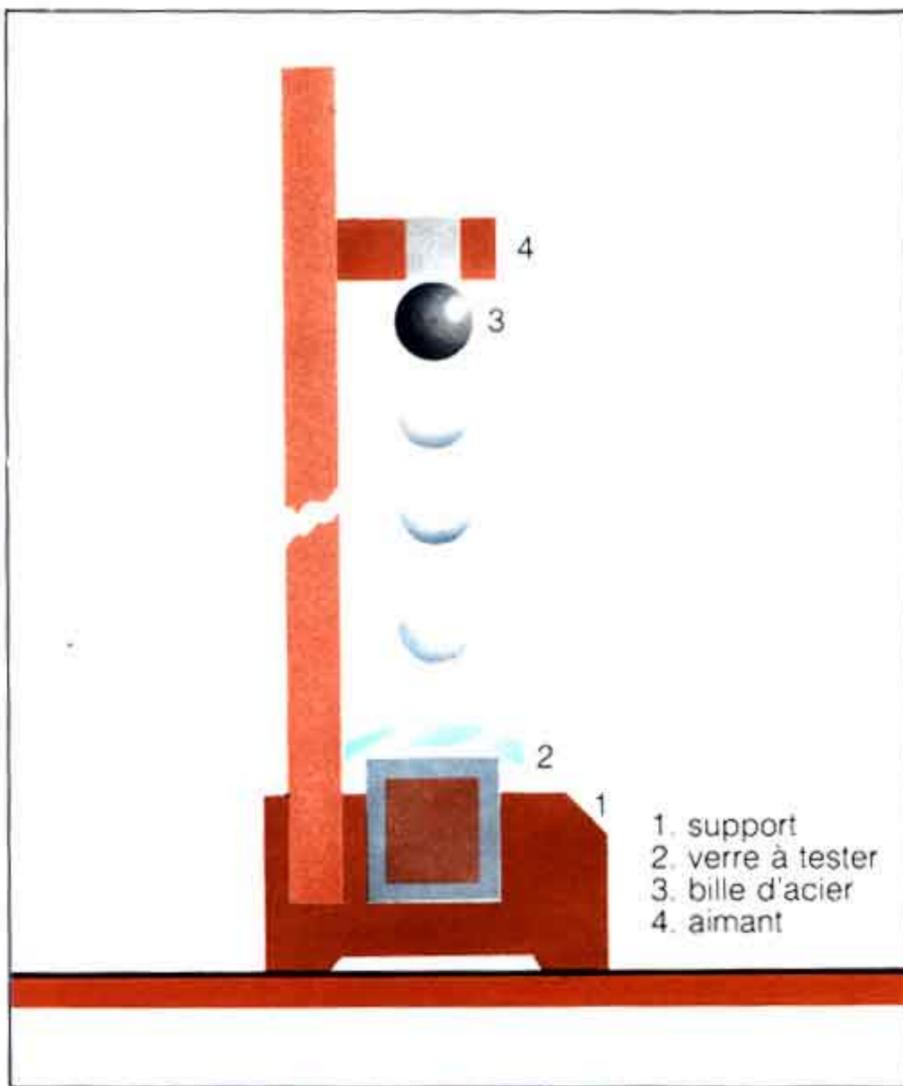
trempe thermique



trempe chimique

Ces diagrammes montrent qu'à mesure que la charge augmente, la compression augmente sur la face supérieure.

riure, diminue sur la face opposée. Tant que cette dernière reste en compression, le verre résiste.

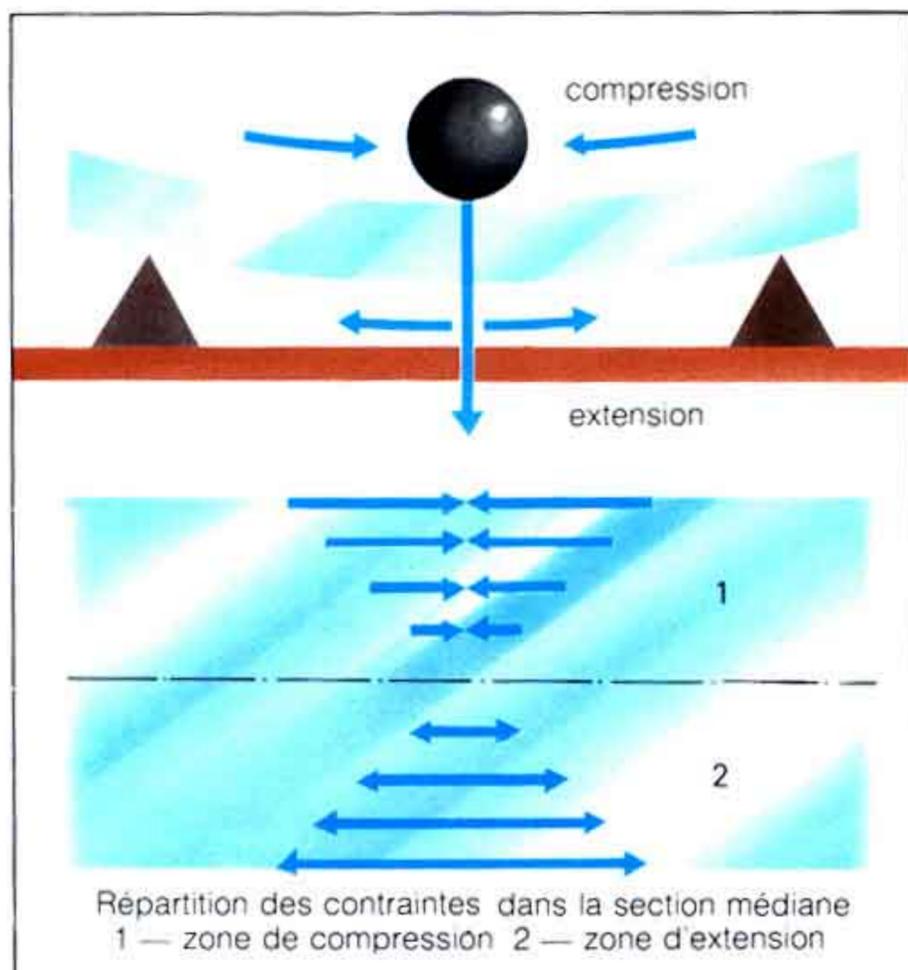


• les normes de sécurité

Les casses entraînant des blessures ou la perte d'un œil sont heureusement assez rares, mais les conséquences, lorsque cela se produit, sont tellement graves que préventivement, des verres résistant mieux aux chocs sont souvent à conseiller.

Certains pays, dont les États-Unis, exigent que les verres de lunettes satisfassent à des normes de sécurité et qui sont les suivantes (normes de la Food and Drug Administration) :

- Résistance aux chocs d'intensité moyenne : le verre doit résister à la chute d'une bille de 16 g tombant de 127 cm ;
- Résistance aux choc de forte intensité : bille de 44 g tombant de 130 cm.



En France, cette exigence ne concerne que les verres dits verres de sécurité.

Satisfont à la norme

- les verres trempés (cf. p. 12)
- les verres organiques (cf. p. 23)

• causes de la fragilité du verre ordinaire

On explique la fragilité du verre ordinaire de la façon suivante. Si l'on charge en son centre une plaque de verre maintenue à ses extrémités, elle s'incurve : au-delà d'un certain poids, elle casse.

La charge (ou le choc, ou la vibration) développe des forces de compression au voisinage de la face qui supporte la charge et des forces d'extension à l'opposé.

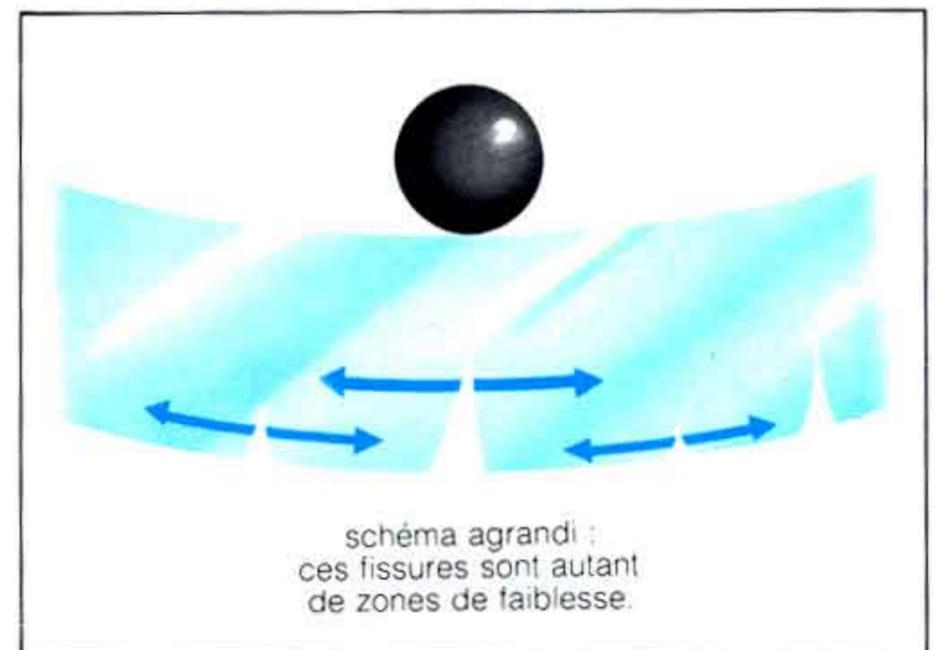
Le verre résiste bien à la compression

- 100 kg au mm^2 — mais mal à l'extension
- 4 kg au mm^2 .

On conçoit donc qu'à une certaine charge, même relativement faible, la face en extension se brise.

microfissures

Cette fragilité due à la structure du verre est encore aggravée par la présence de microfissures à la surface du verre, même très soigneusement poli. Les forces d'extension ont pour effet d'agrandir les fissures et d'affaiblir ainsi la surface jusqu'à la rupture. L'usure du verre dans le temps n'améliore pas la résistance car, aux microfissures qui ont déjà tendance à se développer, s'ajoutent les rayures accidentelles plus ou moins profondes.



• les verres trempés

Effet de la trempé

C'est un traitement qui consiste à provoquer en permanence des zones de compression sur les 2 faces de la plaque de verre et, pour maintenir l'équilibre, des zones d'extension à l'intérieur.

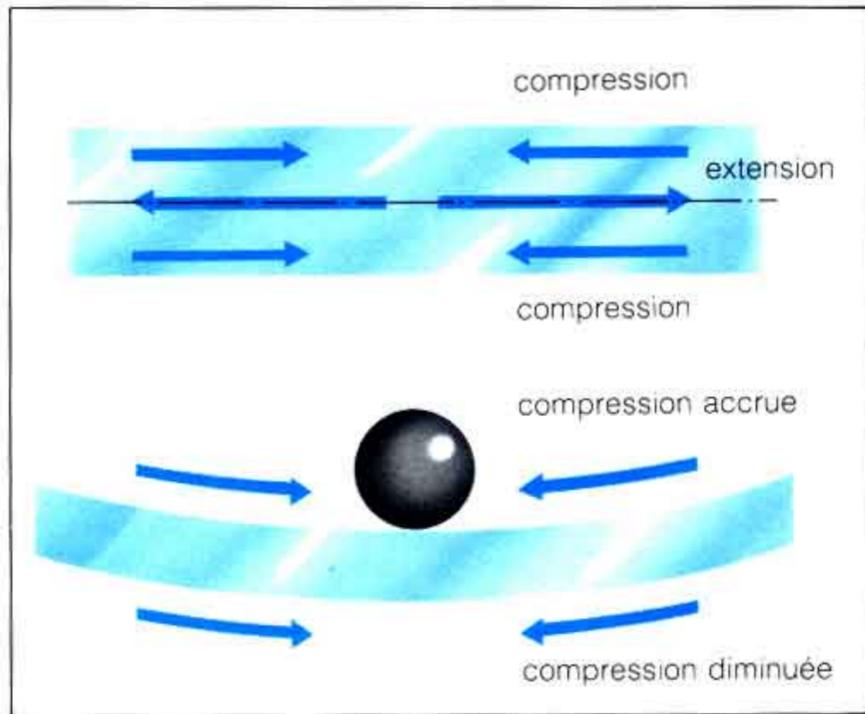
Une plaque de verre trempé soumise à une charge, comme dans le cas précédent, voit sa face supérieure soumise à des compressions accrues, mais la face inférieure, au lieu d'être en extension, a ses contraintes de compression diminuées.

Il faut que la charge devienne assez grande pour que les compressions sur cette face s'annulent et que la plaque se brise.

En même temps, ces contraintes de compression ont pour effet de s'opposer à l'apparition des microfissures sur une surface bien polie.

Il y a 2 méthodes de trempe du verre :

- la trempe thermique ;
- la trempe chimique.



Trempe thermique

Dans un four, le verre est réchauffé à une température inférieure à celle du ramollissement, mais suffisante pour que les molécules puissent se déplacer entre elles, environ 600 à 650 °C.

Sous l'influence de la température, le verre se dilate. Il est alors brusquement refroidi à la sortie du four par 2 jets d'air froid dirigés au centre de chacune des faces.

Les couches externes se refroidissent aussitôt en se contractant et durcissent en prenant leur forme définitive, alors que les couches internes restent chaudes et dilatées. Peu à peu, celles-ci se refroidissent mais ne peuvent se contracter, étant prisonnières entre les couches externes.

Il s'établit alors un état d'équilibre dans lequel les couches externes sont en compression, maximale sur les 2 faces, et les couches internes en extension, maximale à mi-épaisseur.

Le verre trempé possède alors les propriétés de résistance décrites plus haut.

Trempe chimique

Les mêmes résultats peuvent être obtenus par un procédé chimique, dont le principe est le suivant :

Le verre au sodium (Na) spécialement étudié pour subir ce traitement est plongé pendant plusieurs heures (de 6 à 12 selon les procédés) dans un bain à 400 °C environ contenant des sels de potassium (K).

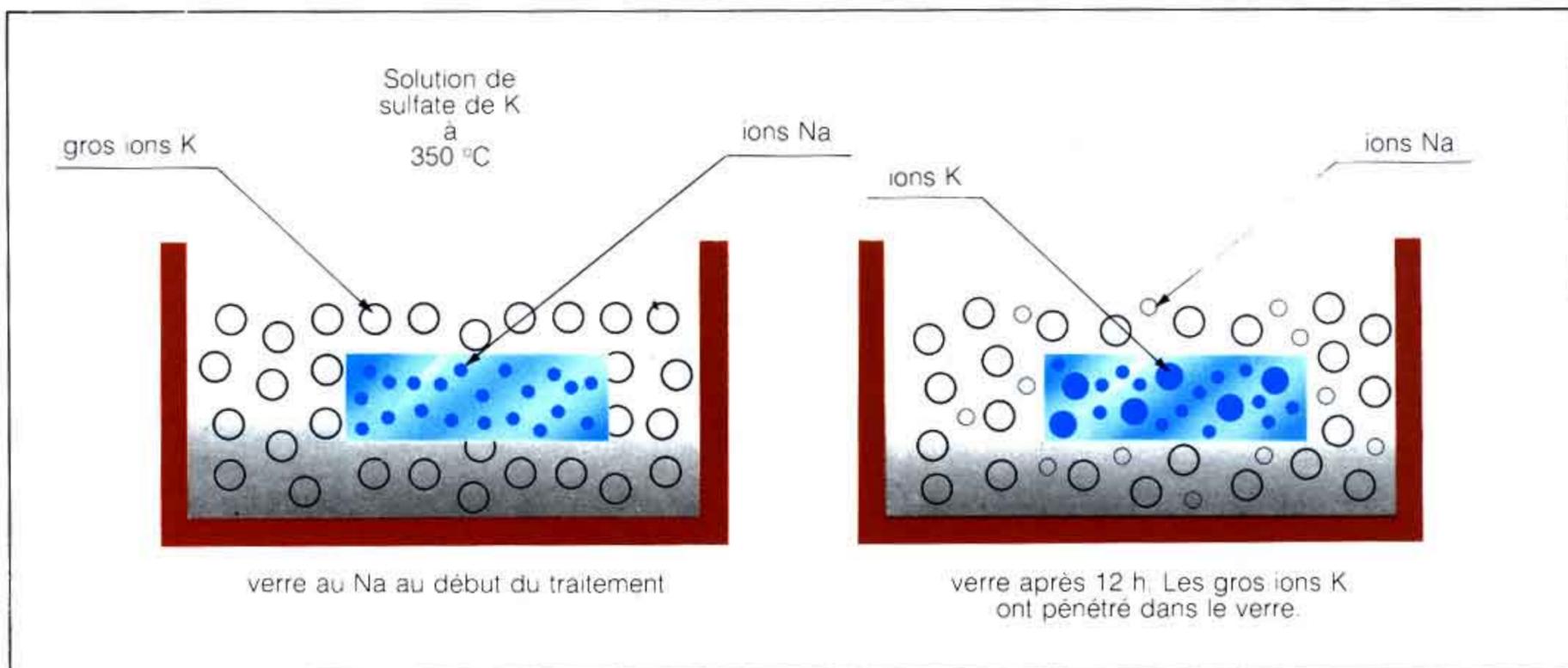
Grâce à la plus grande affinité des ions K pour le verre, une partie de ceux-ci se substituent aux ions Na. Ces derniers étant plus gros, compriment la matière dans l'épaisseur où ils ont pénétré de l'ordre de quelques dixièmes de mm. La compression y est très forte, beaucoup plus que dans la trempe thermique, d'où un coefficient de renforcement de 4 à 7 (par rapport au verre non trempé) au lieu de 2 à 3 pour la trempe thermique.

La forte compression en surface a en outre pour effet de mieux colmater les microfissures, ce qui ajoute aux autres résultats.

Avantages et inconvénients du verre trempé en optique oculaire

A condition d'avoir une épaisseur suffisante pour résister à la chute de la bille de 16 g tombant de 1,27 m pour les cas usuels et 44 g de 1,30 m pour la protection industrielle, épaisseur de l'ordre de 2,5 à 3 mm, le verre trempé est un verre de sécurité.

Cependant il faut savoir que toute atteinte aux faces extérieures d'un verre trempé, rayures profondes, découpage, surfacage ou resurfacage qui réduit l'épaisseur de la couche en compression ou la supprime, fait perdre au verre ses propriétés de résistance, et le verre peut même éclater brusquement sans cause apparente (larme batavique). Cela exige que les verres de lunettes soient découpés au calibre exact avant d'être trempés, par l'un ou l'autre des procédés, car ils ne peuvent plus être retouchés.



propriétés chimiques

● résistance aux agents chimiques

Dans les conditions usuelles d'emploi, le verre ophtalmique résiste bien aux différents agents chimiques avec lesquels il risque d'être en contact, occasionnellement et pendant peu de temps.

Mais le matériau lui-même est attaqué par de nombreux agents chimiques notamment par :

- les acides fluorhydriques et phosphoriques et leurs dérivés ;
- les bases alcalines, soude caustique, carbonate de sodium et de potassium ;
- l'eau, surtout à température élevée, peut dépolir les surfaces, à la longue ;
- l'air, par l'action combinée de l'humidité, du gaz carbonique et de la température, ternit les surfaces.

les différents types de verre utilisés en optique oculaire

1/ classification selon les indices

- **le crown ordinaire** $d = 2,53$
 $n_e = 1,525$
 $\gamma = 58,6$

Tous les verres standards sont fabriqués dans cette matière, qu'ils soient blancs ou absorbants, notamment les verres Stigmal et Photochromiques.

- **les verres à moyen indice**

Les verres STIGMAL 16 et VARILUX MD 16 sont réalisés en matériau d'indice plus élevé dont les caractéristiques sont les suivantes :

	Blanc	Photochromique
Nombre d'Abbe :	$n_e : 1,604$ $\gamma : 41$ $d : 2,60$	$1,604$ 42 $2,70$

Ce matériau tend à devenir le "standard" pour les corrections courantes.

- **les verres à fort indice**

Ces matières sont utilisées pour réaliser les verres de fortes puissances pour myopes ou pour aphaques et forts hypermétropes. Car, ainsi qu'il sera expliqué ultérieurement, les forts indices permettent d'obtenir, toutes choses égales par ailleurs, des verres plus minces, donc plus esthétiques que s'ils étaient exécutés dans du crown.

Dans les verres à fort indice actuels, le plomb a été avantageusement remplacé par du titane ; les verriers ont ainsi obtenu un matériau d'indice élevé, mais doué d'une densité beaucoup plus faible que les verres au plomb.

Toutefois, les verres au titane ont un chromatisme non négligeable (nombre d'Abbe : < 45).

	FIT 40	STIGMAL 18
Nombre d'Abbe :	$n_e : 1,706$ $\gamma : 42$ $d : 3,10$	$1,807$ 35 $3,65$

— Les « baryum » soudables pour multifocaux fusionnés,

donc à usage bien particulier que nous verrons ultérieurement.

2/ classification selon les propriétés absorbantes

- les verres blancs ;
- absorbants, par coloration dans la masse ;
- absorbants à teinte uniforme ;
- verres traités.

- **verre blanc**

La parfaite transparence désirée pour le verre blanc est obtenue en évitant la présence, dans le mélange en fusion, de tout oxyde métallique qui pourrait lui donner une coloration, surtout de fer (impureté fréquente dans le sable).

- **verres absorbants par coloration dans la masse**

Par contre, la nature des oxydes métalliques ajoutés aux matériaux de base, leurs proportions, les conditions de fusion du mélange, confèrent au verre :

- des propriétés absorbantes différentes pour chaque longueur d'onde de la lumière solaire ;
- une absorption sélective, que l'on traduit parfaitement par la courbe de transmission ainsi qu'une coloration ou teinte bien déterminée.

les oxydes absorbants

Les ultra-violetts sont absorbés par les oxydes de titane, de Cérium, de Fer à l'état ferrique.

Le visible. Tout verre coloré absorbe sélectivement et plus ou moins certaines zones du spectre visible. C'est la résultante des différentes intensités transmises qui donne la couleur au verre ; bleue, verte, marron, jaune, grise. Les différents oxydes de métaux lourds sont employés isolément ou dans des proportions données.

L'Infra-rouge est absorbé par l'oxyde ferreux, dans une atmosphère d'oxydation réductrice.

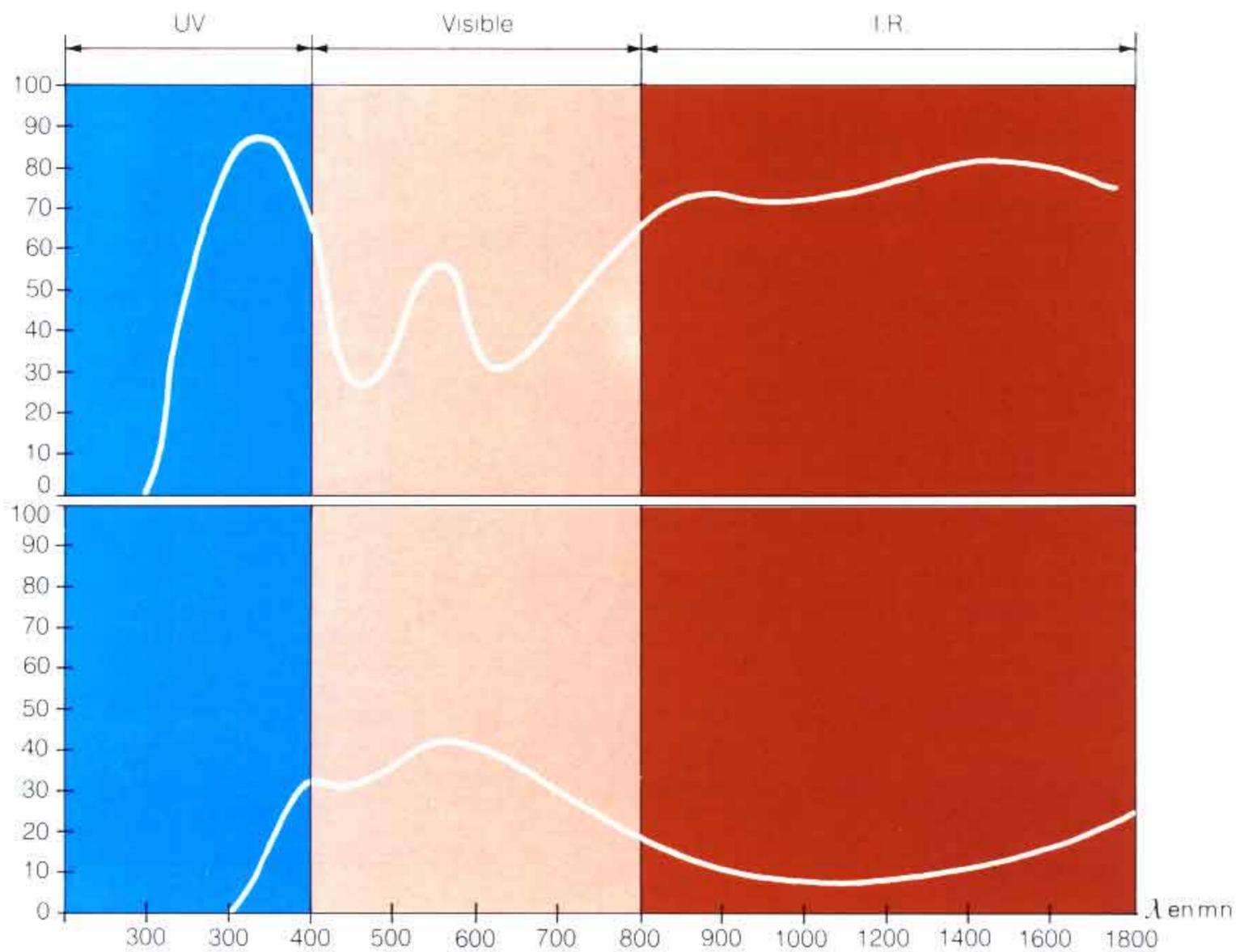
couleur et propriétés absorbantes

La couleur est l'indice de propriétés absorbantes, mais pas nécessairement conforme à celles qui sont exigées en optique oculaire (voir courbes) à savoir :

- absorption des UV et IR qui sont nocifs pour l'œil.
- absorption non anarchiquement sélective du visible de façon à ne pas dénaturer la coloration de l'espace objet (neutre).

La lecture des courbes de transmission est indispensable pour connaître les propriétés des verres colorés.

complément



Courbes de transmission

En utilisant des lumières monochromatiques de longueurs d'onde données, on mesure, en laboratoire, le % de lumière transmise, pour une épaisseur (2 mm) de l'échantillon de verre à examiner.

Les longueurs d'onde étant portées en abscisse, les % de transmission en ordonnées, et en joignant les points obtenus par les mesures, on obtient la courbe de transmission.

La courbe 1 est relative à un échantillon de couleur verte, dont les propriétés absorbantes sont quelconques.

La courbe 2 révèle un verre absorbant très convenablement les UV et l'IR, et une assez bonne neutralité dans le visible, avec un relatif maximum d'absorption des rouges, et un minimum des jaunes.

Un verre absorbant de teinte donnée peut être clair, moyennement ou très foncé, par exemple marron clair ou marron foncé.

les teintes et les gradations

● optique oculaire correctrice

La gamme la plus fréquemment utilisée est la suivante :

- Marron
- Verte
- Grise

● optique solaire

La gamme est complétée par des teintes, souvent plus inspirées par des modes que par les propriétés absorbantes :

- Jaune
- Bleue
- Violette, parme.

● protection

Il s'agit d'une catégorie de verres spéciaux utilisés dans certaines professions, comme les soudeurs à l'autogène, médecins exposés aux rayons X, au radium, ou à un rayonnement IR intense, etc.

Ces verres seront décrits dans un chapitre spécial.

gradation et normes

Pour préciser la propriété du verre, des normes ont été adoptées par l'AFNOR.

	% d'absorption
A teinte très claire	jusqu'à 20 %
AB teinte moyenne	de 20 à 42 %
B	de 42 à 71 %
C teinte foncée	de 71 à 83 %
D très foncée	de 83 à 92 %

Ces valeurs sont relatives à des verres d'épaisseur 2 mm non traités anti-reflets.

Le traitement multicouches diminue l'absorption d'environ 7 % (voir paragraphe traitement anti-reflet).

désignation du verre absorbant

Les verres absorbants très clairs n'existent pratiquement que dans la teinte marron (en France) : Bi-Fi pour Essilor.

* Absorption du Bi-Fi d'Essilor	
97 %	U.V.
16 %	visible
31 %	I.R.

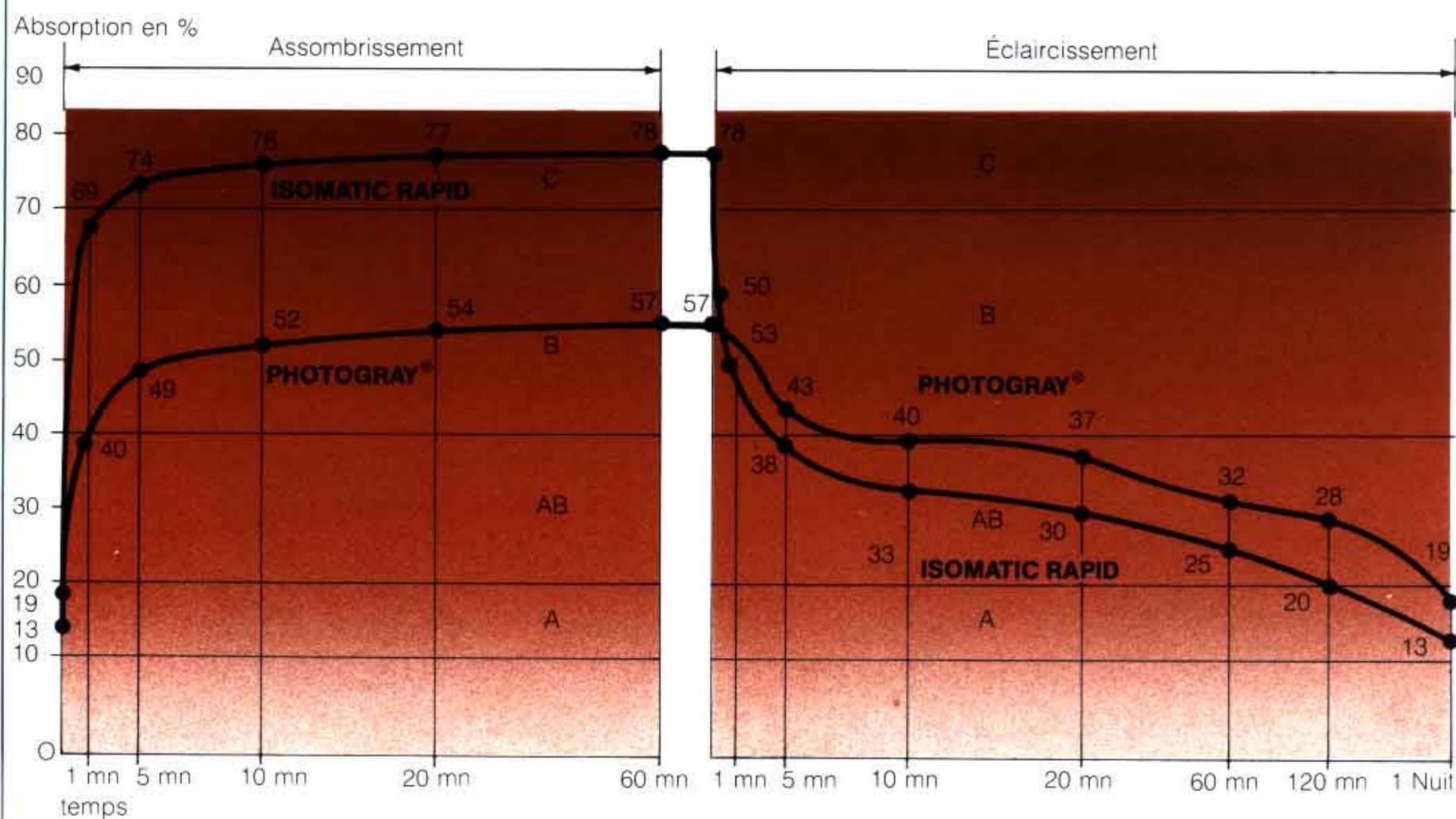
Pour tous les autres verres absorbants, la couleur et la gradation doivent être précisées.

complément

Composition et propriétés des photochromiques

Ces verres appartiennent à la famille des Borosilicates d'alumine, dans lesquels ont été incorporés les éléments photochromiques constitués par des halogénures d'argent.

Ces cristaux, dont les dimensions sont impérativement comprises entre 50 Å et 300 Å, foncent sous l'influence des U.V. contenus dans la lumière solaire, mais reprennent leur transparence lorsqu'ils sont à nouveau soustraits à ces rayons.



Courbes montrant les vitesses d'assombrissement et d'éclaircissement des photochromiques, Photogray et le nouveau Isomatic Rapid, mettant en évidence les résultats

obtenus en 1 mn à 25 °C par ce dernier.
 Assombrissement : 13 à 69 % au lieu de 19 à 40 %.
 Éclaircissement : de 78 à 50 % au lieu de 57 à 53 %.

verre photochromique

Ce verre possède la propriété particulière d'avoir une absorption variable selon l'intensité du rayonnement solaire qui le traverse, propriété indéfiniment réversible.

A faible intensité il a l'apparence d'un teinté A ; en plein soleil et après quelques minutes, celle d'un teinté B ou entre B et C.

A l'intérieur il reprend sa teinte A.

Dans le passé, à égalité d'intensité du rayonnement solaire, le verre devenait d'autant plus foncé que la température ambiante était plus froide. Il existe maintenant des verres photochromiques peu sensibles à la température.

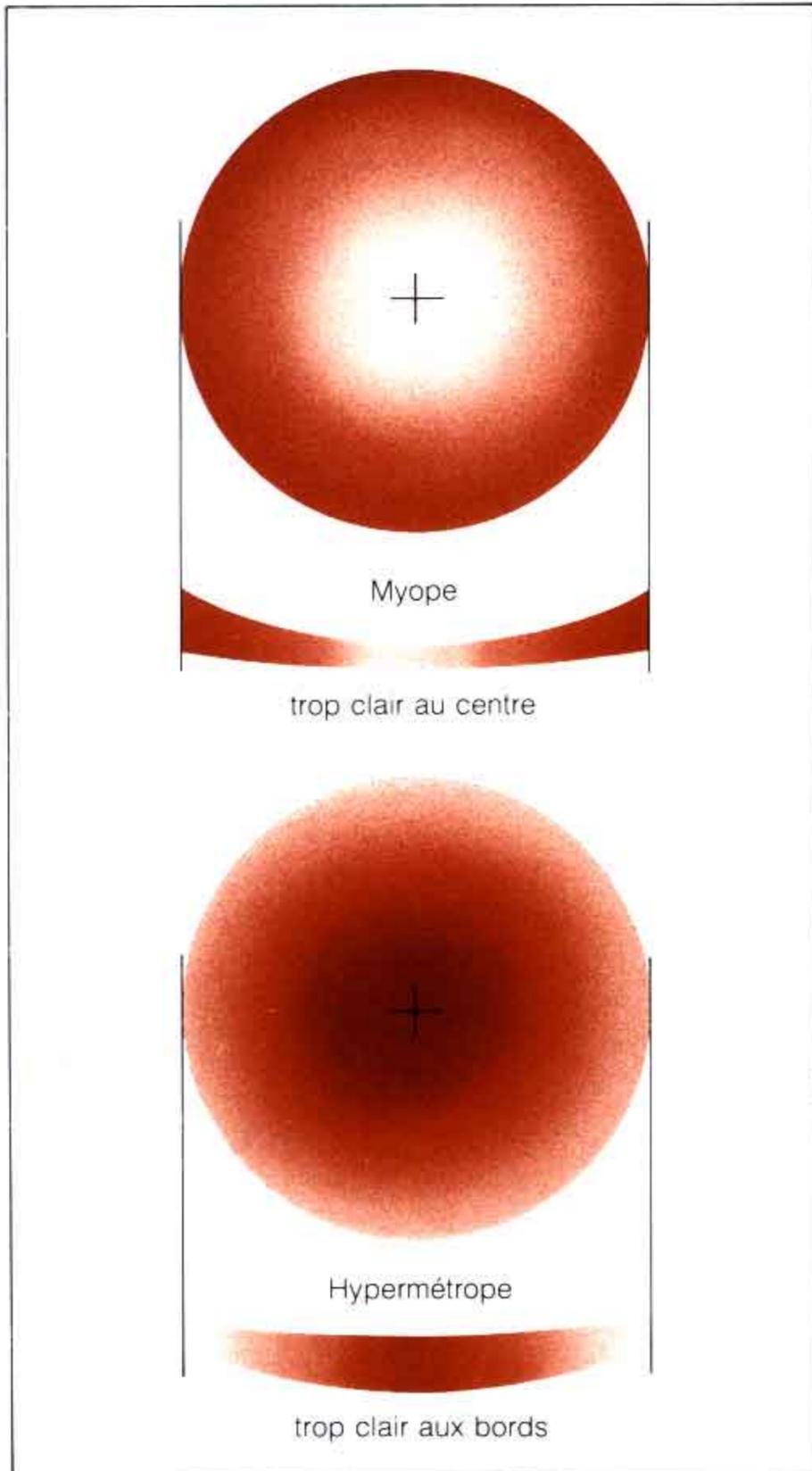
Le photochromique peut être de couleur grise ou marron.

Tous les verres de lunettes, sauf les verres spéciaux de fort indice, peuvent être réalisés en photochromique :

- Unifocaux
- Double-foyers
- Progressifs.

• verres absorbants à teinte uniforme

Les verres pour myopes ou hypermétropes ont des épaisseurs variables du centre aux bords. Ils n'ont donc pas une coloration uniforme. Pour cette raison, cette technologie n'est en général plus utilisée que



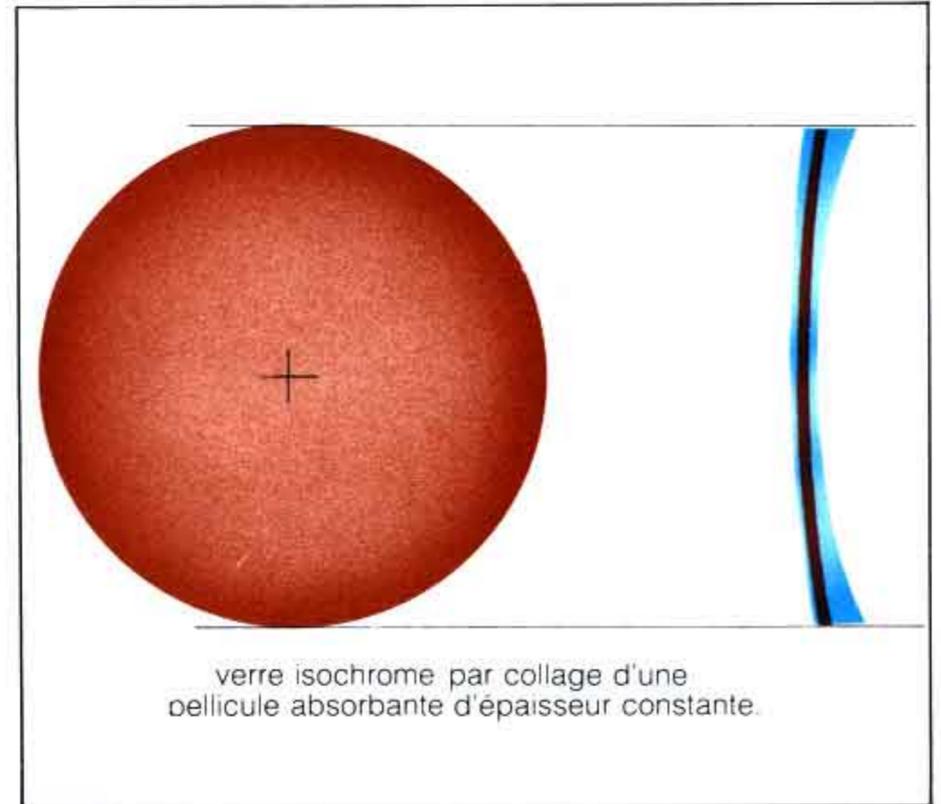
pour les verres de gradation dite « A ». Les autres (AB, B, etc.) sont réalisées en teintes uniformes.

par pellicule mince teintée

La première solution à ce problème a été de coller (au Baume de Canada), de fusionner (à haute température), ou de polymériser (avec des colles polymérisantes), une pellicule mince (1,0 à 1,5 mm) de verre absorbant teinte C ou D sur le verre blanc.

3 Inconvénients du procédé :

- verres alourdis.
- verres coûteux à la production car les faces collées de la pellicule et du verre doivent être très soigneusement surfacées et à la même courbure.
- décollage possible de la pellicule. Le procédé est aujourd'hui abandonné.



Faces supplémentaires

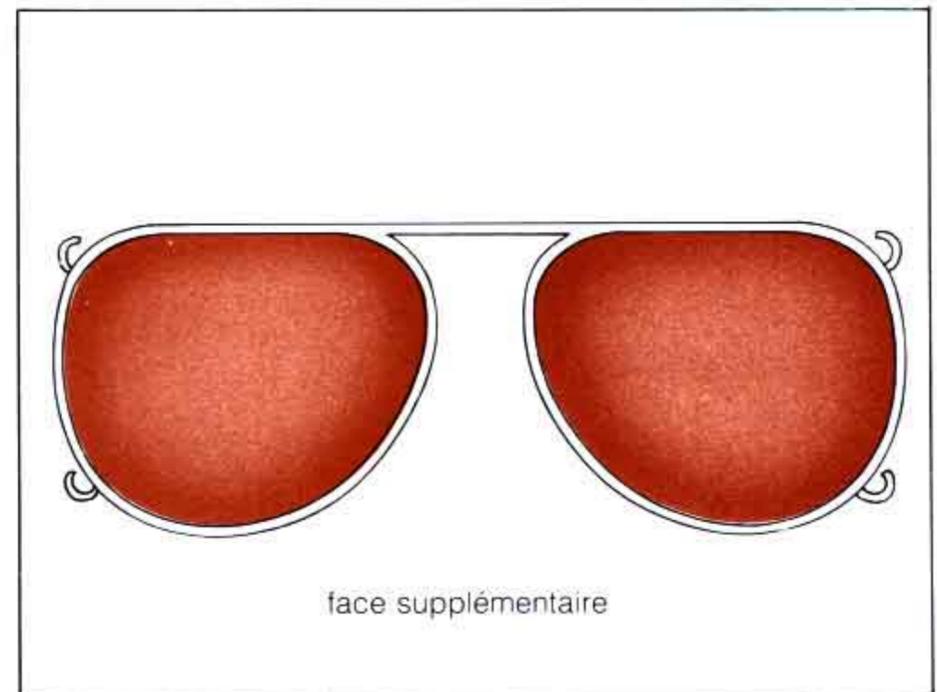
Une méthode ancienne, mais encore souvent employée, consiste à adapter, aux moyens de crochets, un face (monture réduite aux 2 cercles réunis par une barre flexible) à la lunette correctrice. Dans ce face sont montés 2 verres plans absorbants de la gradation souhaitée, B ou C.

Les cercles (et les verres) sont d'une forme voisine de celle de la lunette.

Ce face peut être mis ou ôté selon les besoins.

Inconvénients

Le côté pratique est fortement amoindri par l'aspect inesthétique et le poids de l'ensemble.



coloration sous vide



PRINCIPE D'UNE CLOCHE

- 1 — Plateau tournant sur lequel les verres sont placés.
- 2 — Creuset dans lequel le MgF_2 est chauffé et vaporisé.
- 3 — Miroirs M_1 , permettant à l'observateur O de suivre la coloration de la surface traitée, et d'arrêter l'émission d'oxyde par l'obturateur d que l'opérateur amène au-dessus du creuset
- 4 — Miroir M_2 permettant d'examiner le creuset durant le passage du courant de chauffage.

Dans le cas d'une couche mince uniforme de l'ordre de 1μ , les lumières réfléchies produisent des colorations métalliques très disgracieuses. Les couches dissembla-

bles successives permettant à l'indice de croître de 1,5 à 2,4, puis de décroître à 1,5, éliminent ces effets et la réflexion donne une très légère coloration uniforme.

● verres traités

traitement sous vide pour coloration

La solution moderne consiste à déposer, sous un vide poussé, une très mince couche, de l'ordre de quelques microns, d'un oxyde métallique choisi pour :

- son affinité avec le verre, permettant ainsi un bon accrochage de la couche,
- ses propriétés absorbantes,
- la coloration qu'il produit.

Couches uniformes

Dans les procédés les plus simples la couche déposée est uniforme ; le verre présente alors des reflets métalliques disgracieux.

Couches dissemblables

Des procédés plus sophistiqués permettent de déposer plusieurs couches dissemblables. En programmant avec précision l'évaporation du mélange silice + oxyde à l'intérieur de la cloche, la couche déposée a un indice variable de 1,5 à 2,4 puis de nouveau à 1,5, dont l'effet est de produire une coloration uniforme très douce.

Qualités d'un bon traitement

Il est très difficile de produire des verres traités de bonne qualité, qui doit se manifester par :

- un bon accrochage du dépôt ;
- une résistance à l'abrasion au moins égale à celle du verre de base ;
- une absorption non sélective qui assure la neutralité du verre ;
- la suppression des reflets métalliques ;
- une absence de sensibilité aux traces de doigts, inconvénients que l'on rencontre sur les produits réalisés par des méthodes et un matériel inadéquats.

Quels verres peut-on traiter ?

Tous les verres ophtalmiques sans exception, y compris les multifocaux, réalisés dans un verre minéral blanc, peuvent devenir absorbants, par traitement sous vide.

Les techniques modernes permettent de réaliser les teintes marron et grise, dans les gradations les plus courantes, A, AB, B, C.

La teinte marron a la faveur du public, tant par son aspect extérieur que par la sensation agréable de confort qu'elle apporte.

traitement sous vide anti-reflets.

Les propriétés absorbantes ne sont pas les seules qui puissent être ajoutées à un verre blanc par les procédés du traitement sous vide.

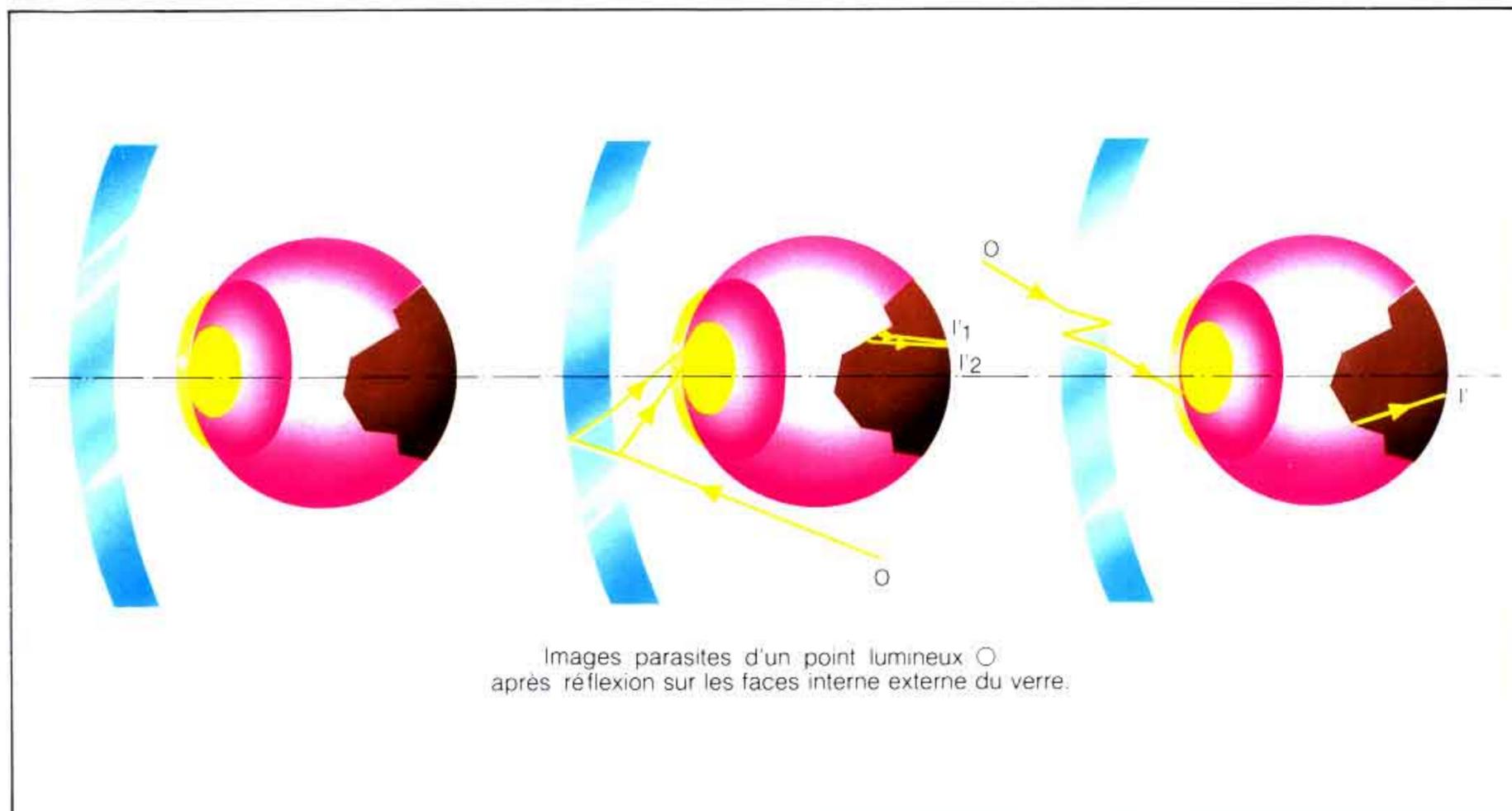
Une autre application de ces méthodes permet d'enlever aux verres les effets des reflets qui gênent les nouveaux porteurs de lunettes, surtout les myopes, très sensibles à toutes modifications de leurs sensations habituelles.

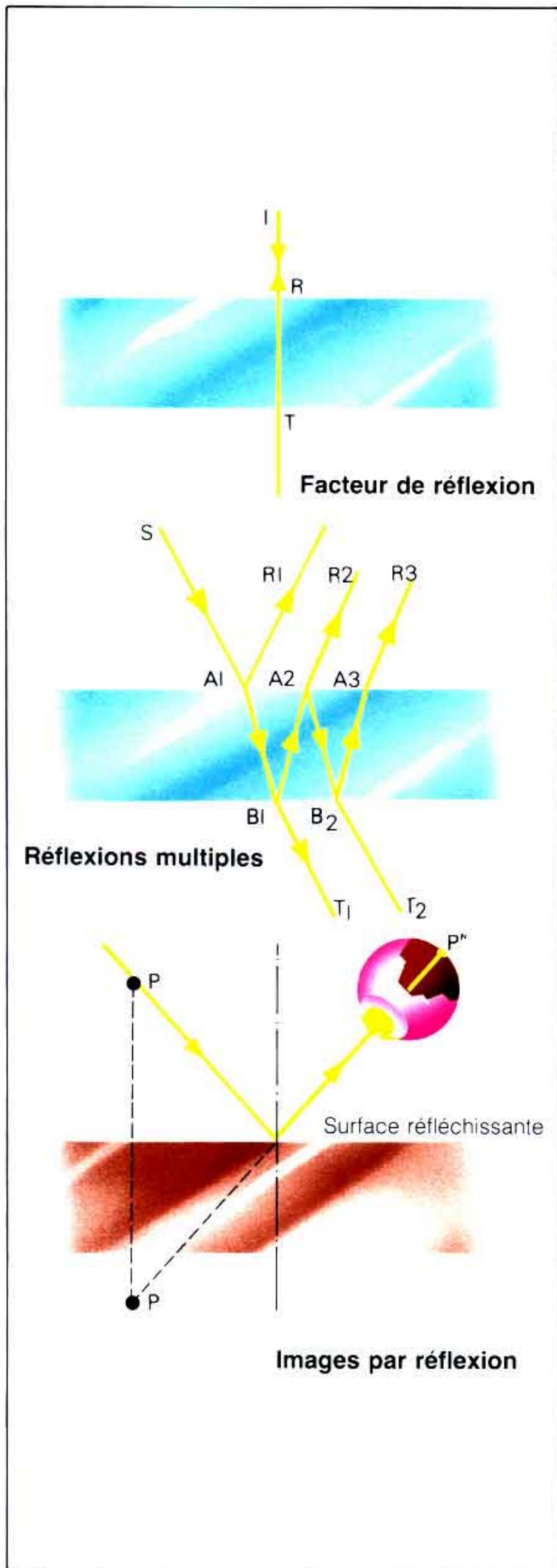
Ils améliorent en outre la transmission de 7 % en moyenne dans le cas des multicouches.

Reflets et images parasites

Ces reflets sont de 2 sortes :

- Ceux qui proviennent de réflexions multiples et qui font pénétrer dans l'œil de la lumière ne provenant pas de l'objet regardé. Le champ visuel se trouve alors peuplé d'images parasites, moins lumineuses que l'objet, mais très mobiles, donc gênantes.





Cause des reflets et images parasites

Lorsqu'un faisceau de lumière SA tombe sur une lame de verre, son intensité se décompose de la façon suivante :

- une fraction, la plus importante est transmise, I_t
 - une autre, très faible, est absorbée par le verre, I_a
 - une autre enfin est réfléchie, I_r , et $I = I_t + I_a + I_r$
- Ce phénomène se produit à chaque fois que la lumière arrive sur une surface séparant l'air du verre, et réciproquement comme le montre le schéma

Facteur de réflexion

Il mesure le pourcentage de la lumière réfléchie par rapport à l'intensité incidente.

$$r = \frac{I_r}{I}$$

Le facteur de réflexion dépend de l'angle d'incidence du faisceau. Pour une incidence voisine de la normale, ce facteur ne dépend que de l'indice du verre.

pour le crown ordinaire

$$r = 0,0428 \text{ ou } 4 \% \text{ de } I \quad r = \frac{(n - 1)^2}{(n + 1)^2}$$

FIT 40 = 1,706

$r = 0,06807$ ou 6,8 % de I

Plus l'indice est fort, plus importante est la lumière réfléchie (« le diamant brille de mille feux » $n = 2,4$).

Réflexions multiples

Si le faisceau incident est 100, le faisceau R_1 est 4, le faisceau T_1 96 (l'absorption, sauf très fortes épaisseurs est négligeable) ; en B le faisceau réfléchi n'est plus que $96 \times 0,04 = 3,98$ etc.

Images par réflexion

A chaque fois qu'un faisceau de lumière réfléchi pénètre dans l'œil, celui-ci, si l'axe visuel est dirigé dans la même direction, voit l'image P' du point objet P d'où émane le faisceau.

Couche mince anti-reflet

Le principe est de faire interférer entre eux les faisceaux réfléchis.

En lumière monochromatique, les faisceaux réfléchis s'éteignent si l'épaisseur e de la couche, son indice n , et la longueur d'onde λ de la lumière sont liés par la relation.

$$e = \frac{\lambda}{4n} \quad \left(e = 0,102 \mu \text{ pour } \lambda = 0,56 \text{ et } n = 1,38 \right)$$

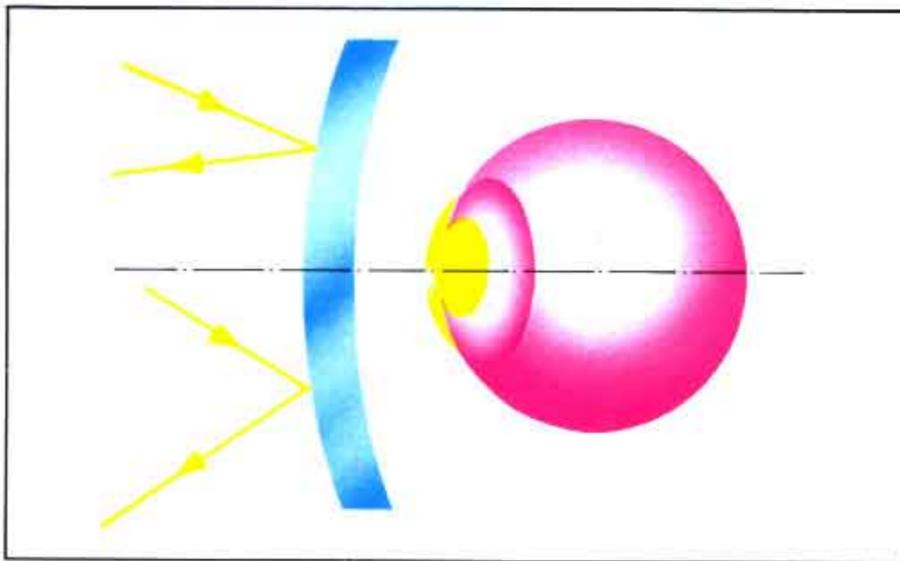
On utilise le fluorure de magnésium dont l'indice $n = 1,38$ et les propriétés physico-chimiques sont appropriées aux qualités du traitement.

En lumière blanche, il ne peut donc y avoir extinction complète, mais elle est maximum pour la lumière jaune $\lambda = 0,56 \mu$ pour laquelle l'œil est le plus sensible.

— Les reflets apparents sur la face avant des verres qui jouent le rôle de miroir convexe.

Ils ne gênent pas la vision, mais détruisent la limpidité du regard en voilant les yeux derrière les verres, ce qui incommode parfois le vis-à-vis.

C'est en s'inspirant des techniques de l'optique scientifique dite bléuissement des objectifs, dont le but est de réduire les pertes de lumière par réflexion sur les surfaces (jumelles, photos, cinéma, microscopes...), que l'industrie de l'optique oculaire a pu réaliser les verres anti-reflets.

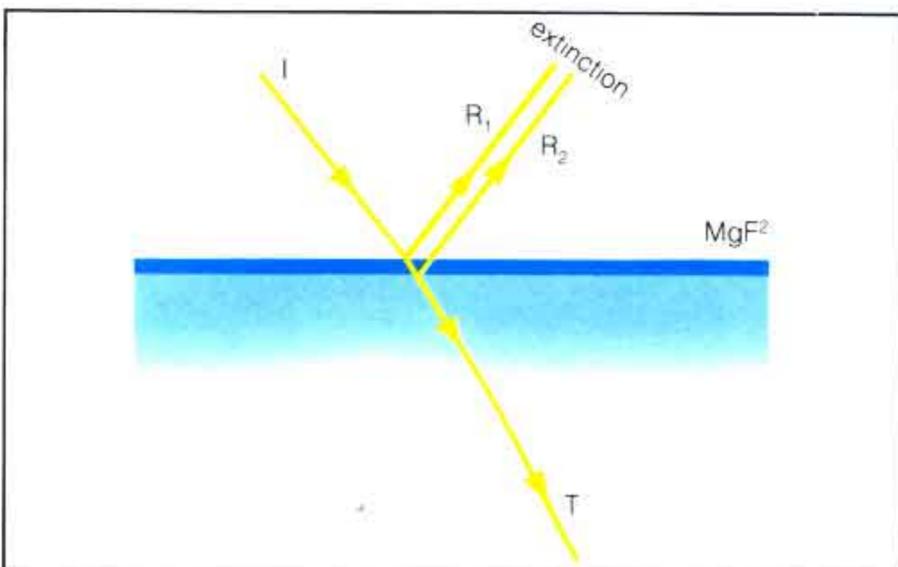


Principe de l'anti-reflet

L'une, ou les 2 faces du verre, sont recouvertes d'une très mince couche d'un produit, dont l'indice et l'épaisseur sont tels que les rayons réfléchis sur les 2 faces interfèrent et s'éteignent.

Le fluorure de magnésium dont l'indice est de 1,38, déposé en couche de $0,1\mu$ répond à ces conditions, du moins suffisamment pour provoquer une extinction partielle suffisante des lumières réfléchies.

Avec la technique des multicouches, l'extinction des lumières réfléchies peut être presque totale, au point que la monture paraît privée de ses verres.



Qualités d'un bon traitement

Comme les verres absorbants traités sous vide, les anti-reflets requièrent une haute technicité et un matériel performant.

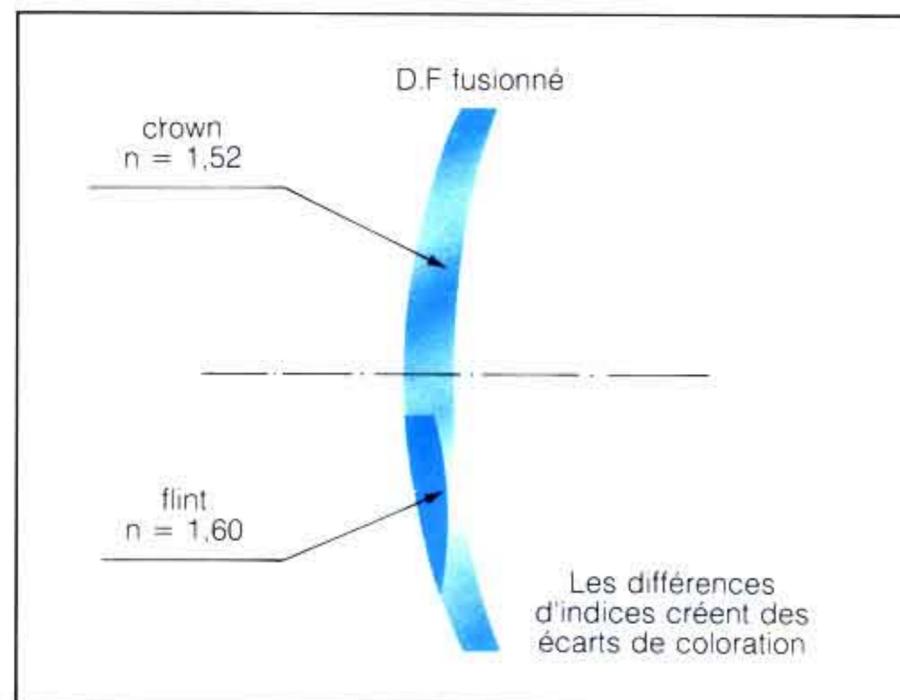
Les qualités que l'on doit exiger sont

- Diminution importante du pouvoir réflecteur des surfaces conduisant à une réduction de l'éclat des images parasites.
 - Une très forte adhérence de la couche.
 - Une résistance à l'abrasion de cette couche, au moins égale à celle du verre de base.
- Un reflet résiduel discret, sans éclat métallique, donnant l'aspect d'un verre d'optique de haute qualité.

Quels verres peuvent être traités anti-reflets ?

Tous les verres optiques peuvent l'être.

Cependant, les multifocaux fusionnés pour presbytes dont la partie supérieure destinée à la vision de loin est en crown, et la face avant de la partie inférieure destinée à la vision de près en flint, présentent de légers écarts de nuance entre ces zones. Mais ces écarts sont sans effets sur les propriétés des verres, et peu visibles.



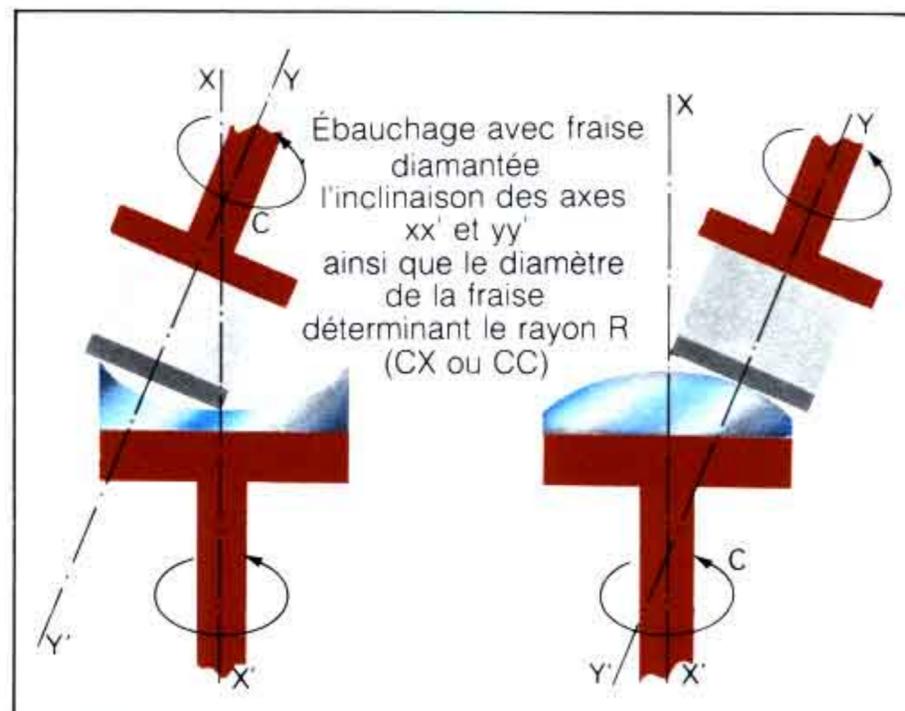
usinage du verre minéral

Cet usinage consiste à transformer le palet initial en un verre optique ayant les caractéristiques optiques désirées.

Il comporte 3 phases distinctes, chacune exigeant machines, outils et procédés adéquats.

● l'ébauchage

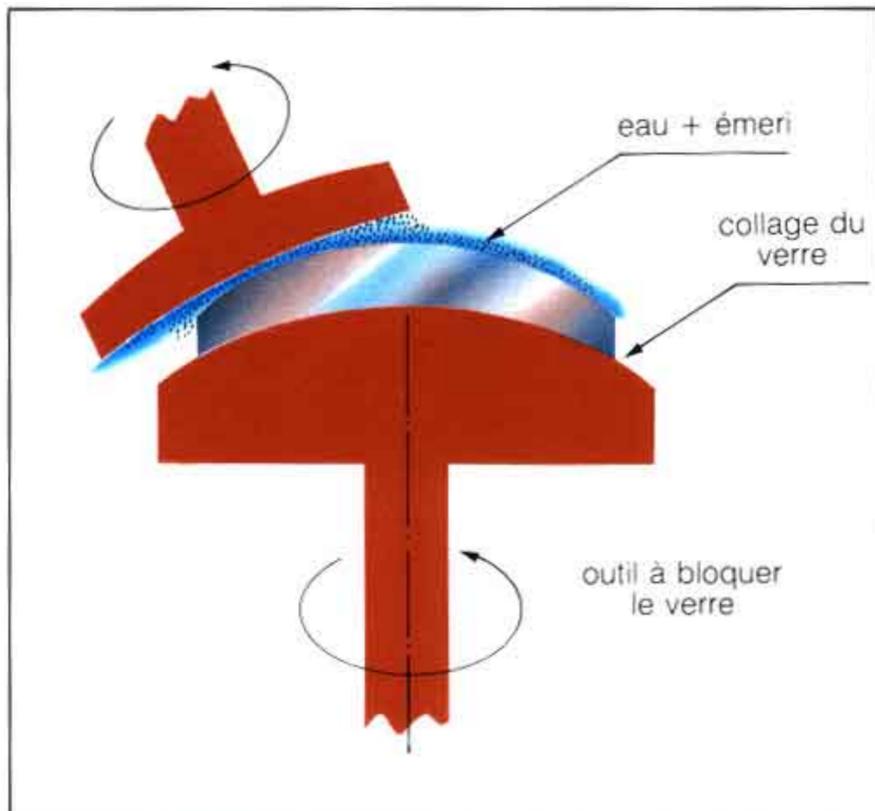
— L'ébauchage, à partir du palet au diamètre exact voulu, et aux courbures et épaisseur approchées convenables. L'opération consiste à user le verre avec un outil diamanté pour lui donner l'épaisseur définitive ainsi que les rayons de courbures précis désirés.



● le douci ou doucissage

- Le douci ou doucissage, consiste à affiner le grain du verre de chaque face sans modifier les rayons de courbure, et à préparer la phase suivante. On utilise des émeris de plus en plus fins amenés à frotter le verre au moyen d'un outil au rayon du verre. L'émeri, en suspension dans l'eau, arrose le verre pendant toute la durée du douci.

A la fin de l'opération, le verre est très exactement aux courbures, à l'épaisseur et au diamètre souhaités. Mais les faces sont dépolies. Il faut les polir.



L'usinage à la pièce est réservé aux produits de faible fréquence, et à ceux dont les caractéristiques optiques s'opposent à la série (doubles-foyers, progressifs, toriques, asphériques, verres spéciaux, etc.)



● le poli ou polissage

Opération identique à la précédente ; l'outil est recouvert d'un feutre à polir ou d'une pellicule d'un plastique spécial ; l'émeri est remplacé par un abrasif encore plus fin, de l'oxyde de cérium ou de titane par exemple, mélangé à l'eau.

Pendant le poli, aucune matière n'est enlevée. Il se produit un fluage, les bosses, qui constituent le grain de la surface, sont progressivement poussées dans les creux, de façon à parfaitement lisser celle-ci.

● nature des surfaces réalisées en optique ophtalmique

Ce sont des surfaces sphériques, cylindriques, toriques, asphériques, à puissances progressives, plus rarement planes, les premières pouvant être convexes ou concaves.

● usinage en série ou à la pièce

L'usinage en série est réservé aux produits de très grande fréquence d'emploi, justifiant une mise en stock et une distribution sur stock.

L'usinage en série est également employé pour exécuter des semi-finis, qui seront ultérieurement finis à la pièce.

le verre minéral, conclusion

Le verre minéral, dans ses types très variés pouvant être améliorés par différents traitements, possède des propriétés qui en ont fait, pendant de très nombreuses années, le seul matériau de base valable pour réaliser des verres de lunettes.

Cependant, sous l'influence de données nouvelles propres à notre vie moderne, deux de ses inconvénients combinés ont pris une importance jusque là négligeable.

- Son poids, très accru par les dimensions des verres actuels, devient contraire à un confort de plus en plus recherché.
- Sa fragilité est prise davantage en considération depuis que se sont multipliés les risques de casse.

Pour répondre plus complètement aux nouvelles exigences, un autre matériau transparent devait être créé, ou utilisé. D'où l'avènement et le développement fulgurant de la matière organique dans le monde entier.

2. le verre organique

Après la bakélite, le celluloid, les résines polymérisables, acroléines, styrolène... utilisés en optique scientifique, c'est un esther de l'acide méthacrylique qui fut retenu par l'industrie de l'optique oculaire.

le méthyl-méthacrylate

Plus connu sous les noms de marque Plexiglas ou Perspex, ce matériau marqua son époque de 1937 à 1958.

D'abord réservé à la production des verres de fortes puissances pour myopes et aphaques, son emploi se généralisa rapidement à toutes les formules.

● propriétés

Très léger, densité à 20 °C = 1,18, d'un indice voisin de celui du verre minéral $n_D = 1,493$, très résistant aux chocs, il possède les qualités recherchées de ces points de vue.

● fabrication

Le méthyl-méthacrylate est une résine thermoplastique, dont la température de ramolissement est 75/80 °C. De cette propriété découle le procédé de fabrication employé en optique oculaire.

— Dans des plaques d'épaisseurs convenables, des palets ronds aux diamètres désirés (50 et 55 mm à l'époque) étaient d'abord découpés. Ces palets étaient ensuite mis en courbes sur des tours de mécaniciens de précision, de façon à réaliser les préformes de chaque grande catégorie de verres de lunettes.

— Enfin les préformes étaient « formées » à chaud entre les 2 parties d'un moule monté sur une presse, puis refroidies.

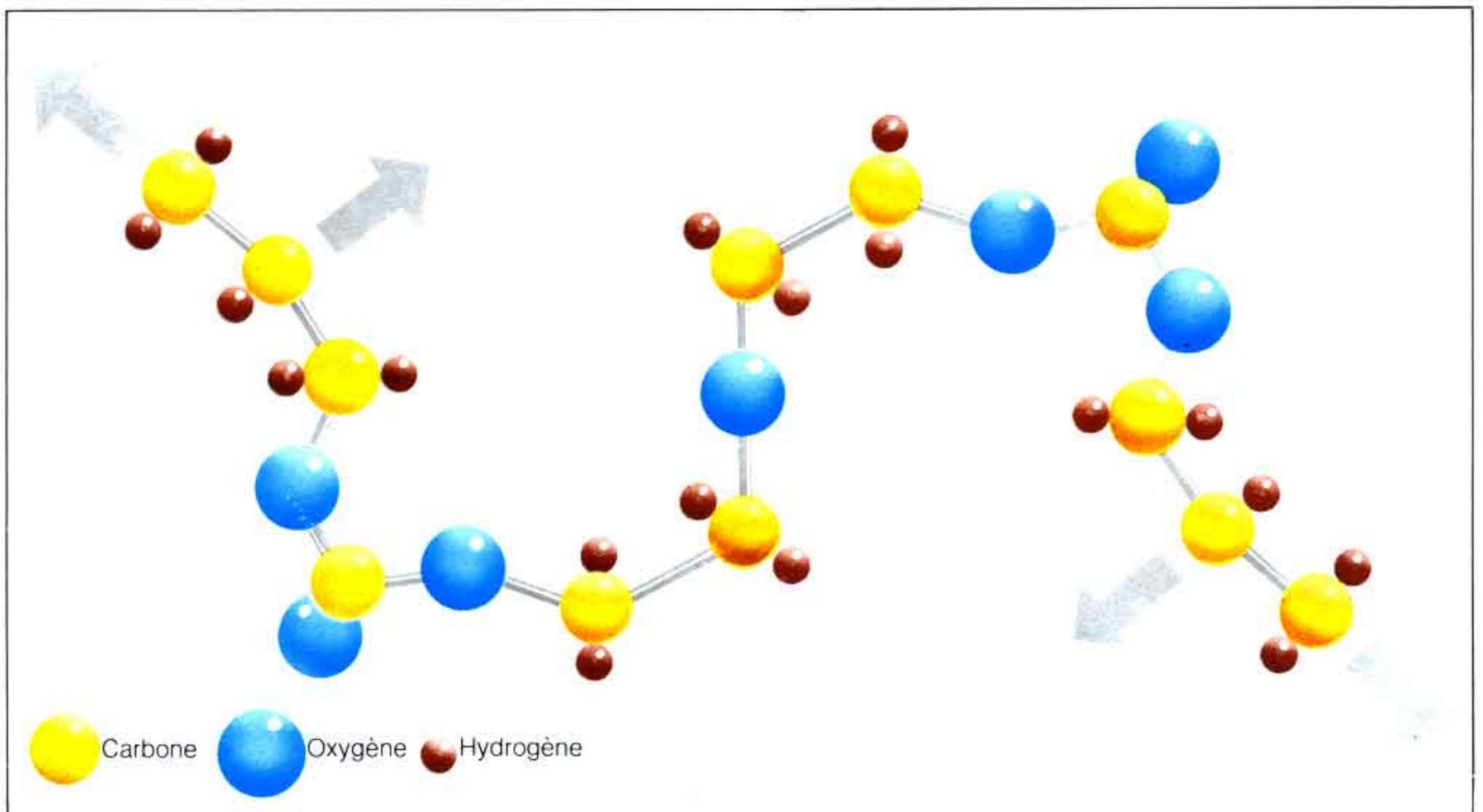
La qualité des surfaces du verre était celle du poli du moule en acier utilisé.

● inconvénients et avantages du méthacrylate

Cette rapide description du procédé de fabrication fait ressortir les critiques que l'on pouvait adresser au méthyl-méthacrylate.

- La précision et la qualité des surfaces découlaient de moyens mécaniques et ne pouvaient atteindre les performances des procédés optiques.
- Le formage à chaud grâce à la thermoplasticité ne pouvait garantir la stabilité du produit.
- Enfin et surtout, le produit étant très peu résistant à l'abrasion, et les verres de lunettes ainsi fabriqués rapidement rayés et frayés, devenaient tôt hors d'usage.

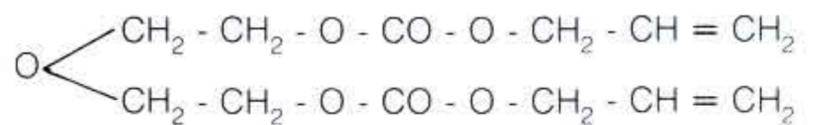
Mais avec ses qualités et malgré ses défauts, ce matériau a confirmé le grand intérêt du verre organique en optique oculaire et préparé l'introduction du carbonate de diallyl glycol ou CR 39, produit de base le plus employé aujourd'hui et dans lequel sont réalisés les verres organiques ORMA.



Le carbonate de diallyl glycol ou CR 39

Thermoplastiques et Thermodurcissables constituent les 2 grands groupes de matières organiques.

- Les thermoplastiques ont leurs molécules disposées en longues chaînes linéaires (2 dimensions) et ont la propriété de se ramollir et de se comprimer.
- Les thermodurcissables, dont les molécules s'organisent en réseau à 3 dimensions pendant la polymérisation, le polymère ne peut ni se ramollir, ni se déformer sous l'action de la chaleur.



Synthèse du monomère

Elle se fait en 2 étapes :

- Préparation d'un ester du phosgène, le chloroformiate de diéthylène glycol ;
- Réaction du chloroformiate de diéthylène glycol sur l'alcool allylique.

le carbonate de diallyl glycol

ou CR 39, fut découvert au début des années 40 par les chimistes de la Columbia Corp. (Pittsburgh USA), et plutôt destiné aux usages scientifiques.

Le CR 39 est un dérivé du pétrole appartenant à la classe des polyesters, nouvelle famille des résines thermodurcissables polymérisables.

Cette double propriété conditionne le procédé de fabrication et confère aux verres leurs qualités propres.

La synthèse du produit, qui se fait en plusieurs stades, donne le monomère, liquide limpide ayant la viscosité de l'huile de glycérine.

Le monomère reste à l'état liquide lorsqu'il est conservé en chambre froide. (Il durcirait au bout de plusieurs mois à la température ambiante.)

Pour activer la vitesse de durcissement ou de polymérisation, il faut ajouter au monomère, dans des proportions convenables, un catalyseur qui amorce le processus sous l'effet de la chaleur.

● propriétés du polymère

Elles dépendent essentiellement de la façon dont a été conduite la polymérisation, c'est-à-dire du dosage de catalyseur et du cycle de température (degré et durée), et naturellement de la composition du monomère qui doit être exempt d'impuretés pouvant être autant d'inhibiteurs s'opposant à la polymérisation.

Les propriétés optima d'un monomère très bien polymérisé doivent être les suivantes :

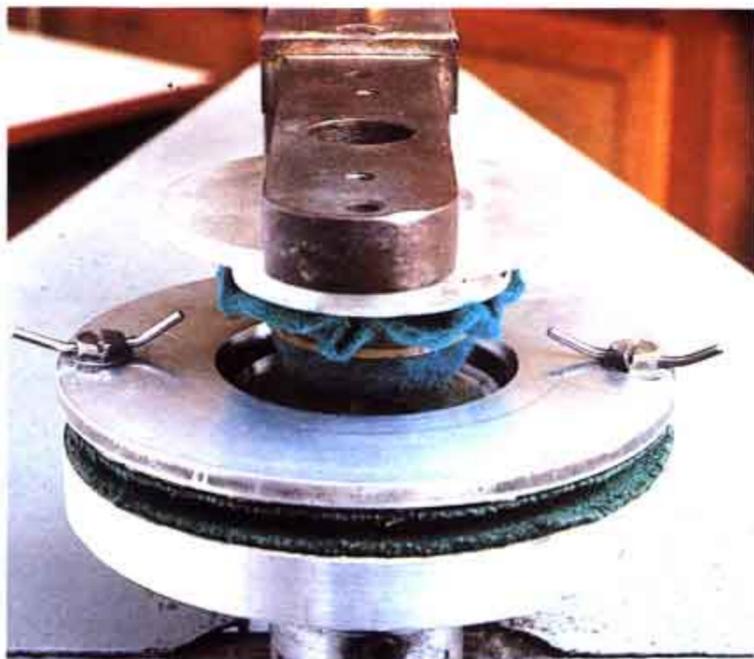
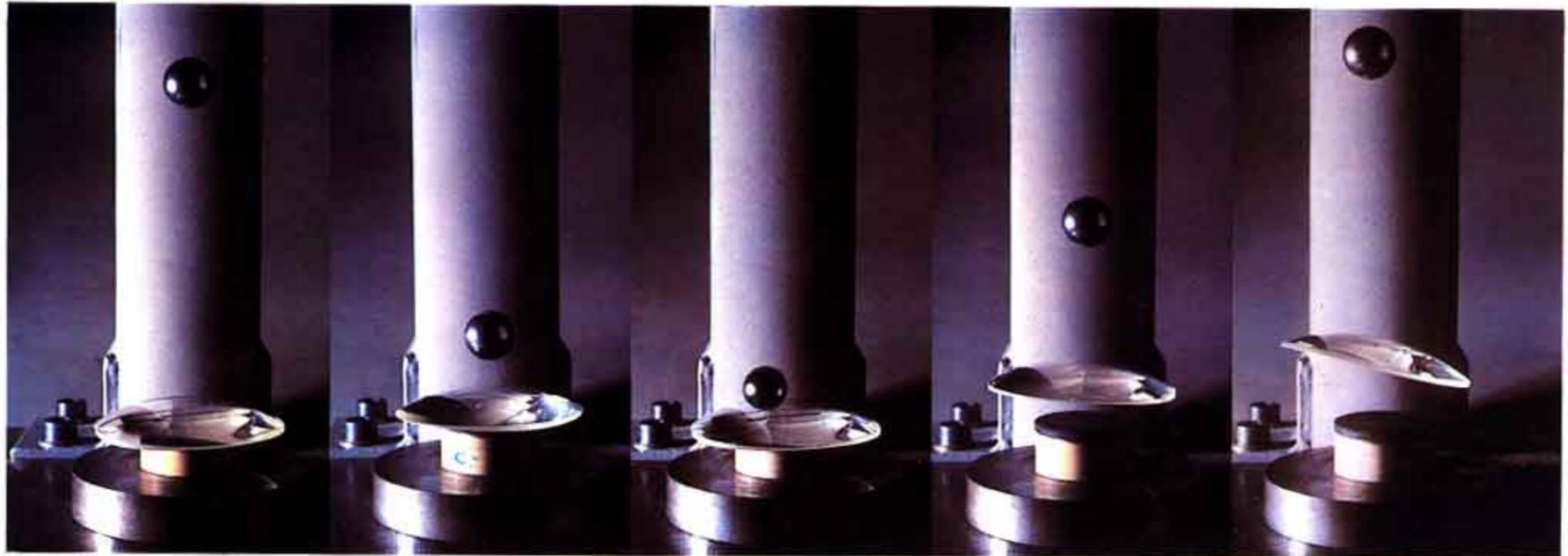
● propriétés optiques

indice de réfraction $n_e = 1,500$
pouvoir dispersif

$$\frac{n_F - n_C}{n_e - 1} = \frac{1}{V} \quad \text{et } V = 58$$

transparence moyenne du polymère blanc : 92 %
de transmission du spectre visible.

Tests de résistance aux chocs et à l'abrasion



Mesure de la résistance à l'abrasion.

Test de la chute de bille
(16 g de 1,27 m)
Résistance au choc

• propriétés mécaniques

- densité ou poids spécifique $d = 1,32$
- résistance à l'usure. Cette propriété est mise en évidence de 2 façons :
 - résistance au frottement d'un drap, sous une légère pression. On mesure au bout de combien de temps le verre organique commence à se rayer. (Il faut 4 heures pour frayer un ORMA.)
 - résistance à la chute d'émeri ou de sable provoquant des traces de dépolissage. (La résistance de l'ORMA est de 0,9 à 1,2 fois celle du crown.)
- résistance aux chocs. La mesure est faite sur des verres organiques finis, par la méthode de la chute de bille déjà décrite pour le minéral.

Un verre organique en CR 39 de qualité résiste aux chocs d'une bille de 16 g tombant d'une hauteur de 2 m. (La norme de sécurité de la F.D.A. aux États-Unis exige une hauteur de 1,27 m.)

- résistance aux petites particules animées de grandes vitesses. Elle est très différente de celle que l'on met en évidence par la chute de la bille.

A l'aide d'un canon électronique, le produit à tester est bombardé de particules de 2 à 3 mm de diamètre animées d'une vitesse de 100 m/s (360 km/h).

De tous les matériaux testés par l'Institut National de Recherches de Sécurité, et à l'École de Médecine Aérospatiale (Texas U.S.A.), y compris le verre feuilleté ou trempé, c'est le CR 39 qui offre la plus grande résistance.

• propriétés chimiques

Résistance aux agents chimiques

Le CR 39 résiste à tous les agents chimiques courants sauf :

- à l'acide sulfurique concentré à 98 % ; après immersion pendant 7 jours, il perd 9,4 % de son poids ;
- à l'acide nitrique concentré qui le décompose après une immersion de 7 jours.

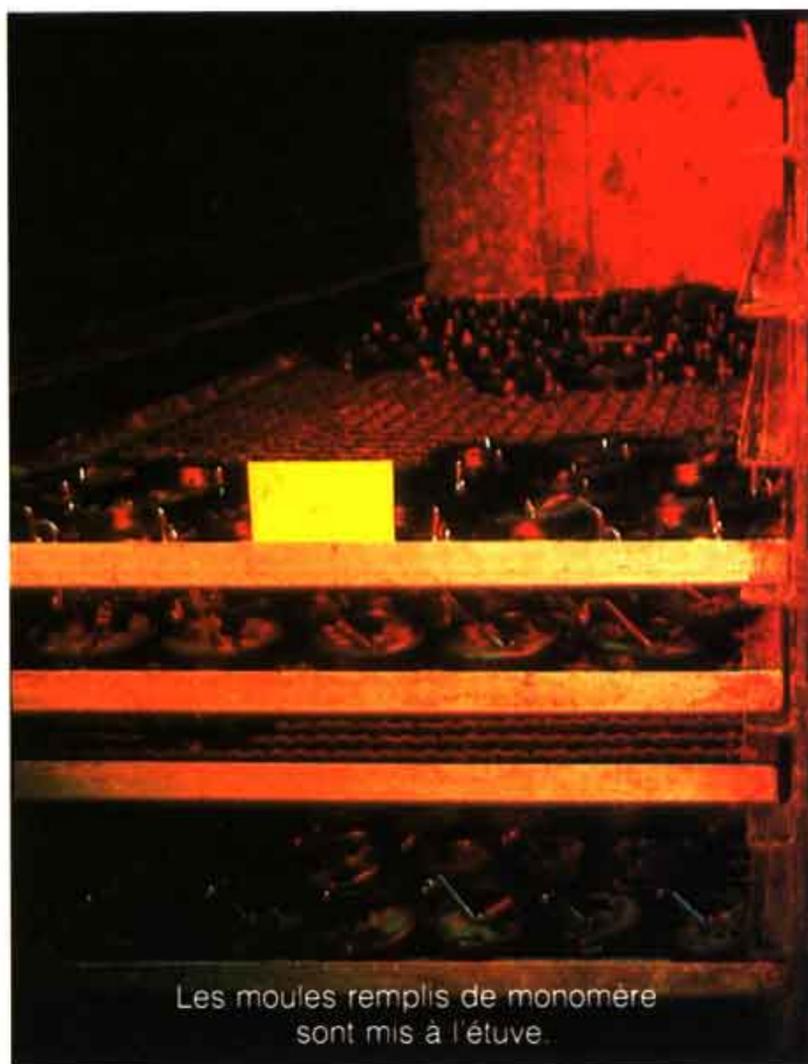
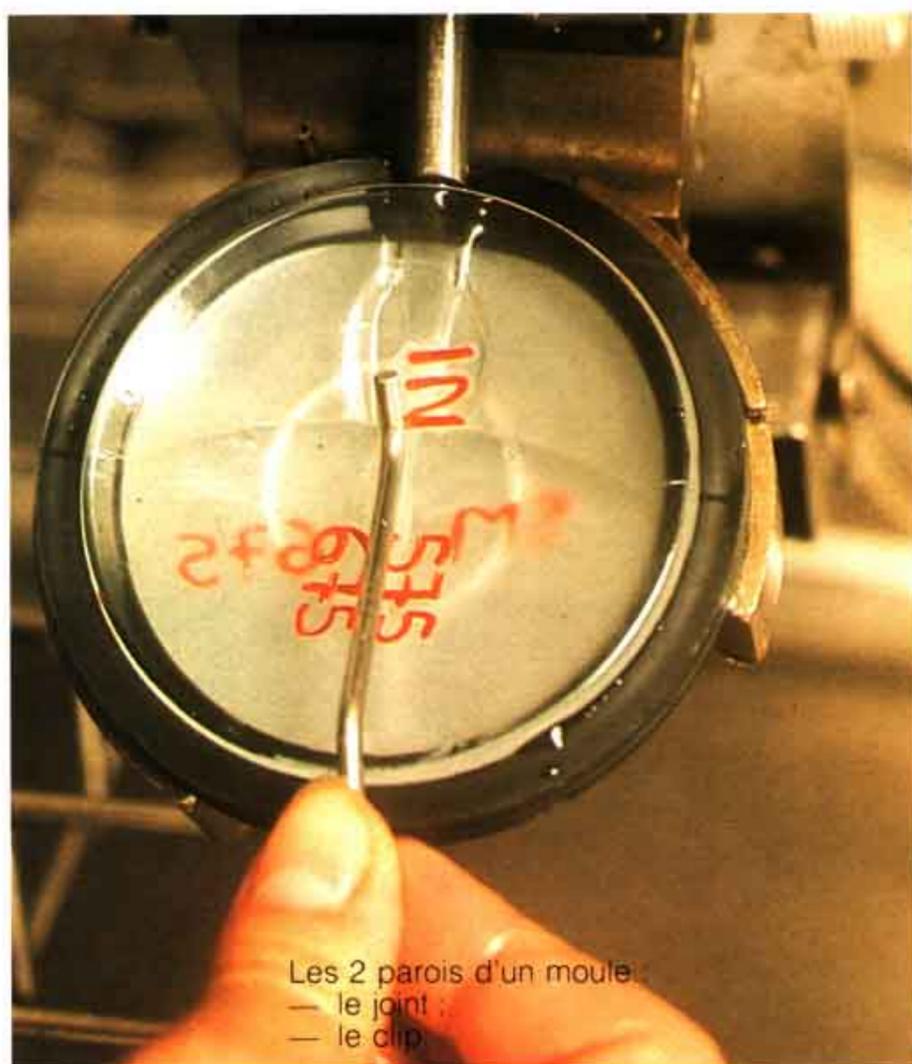
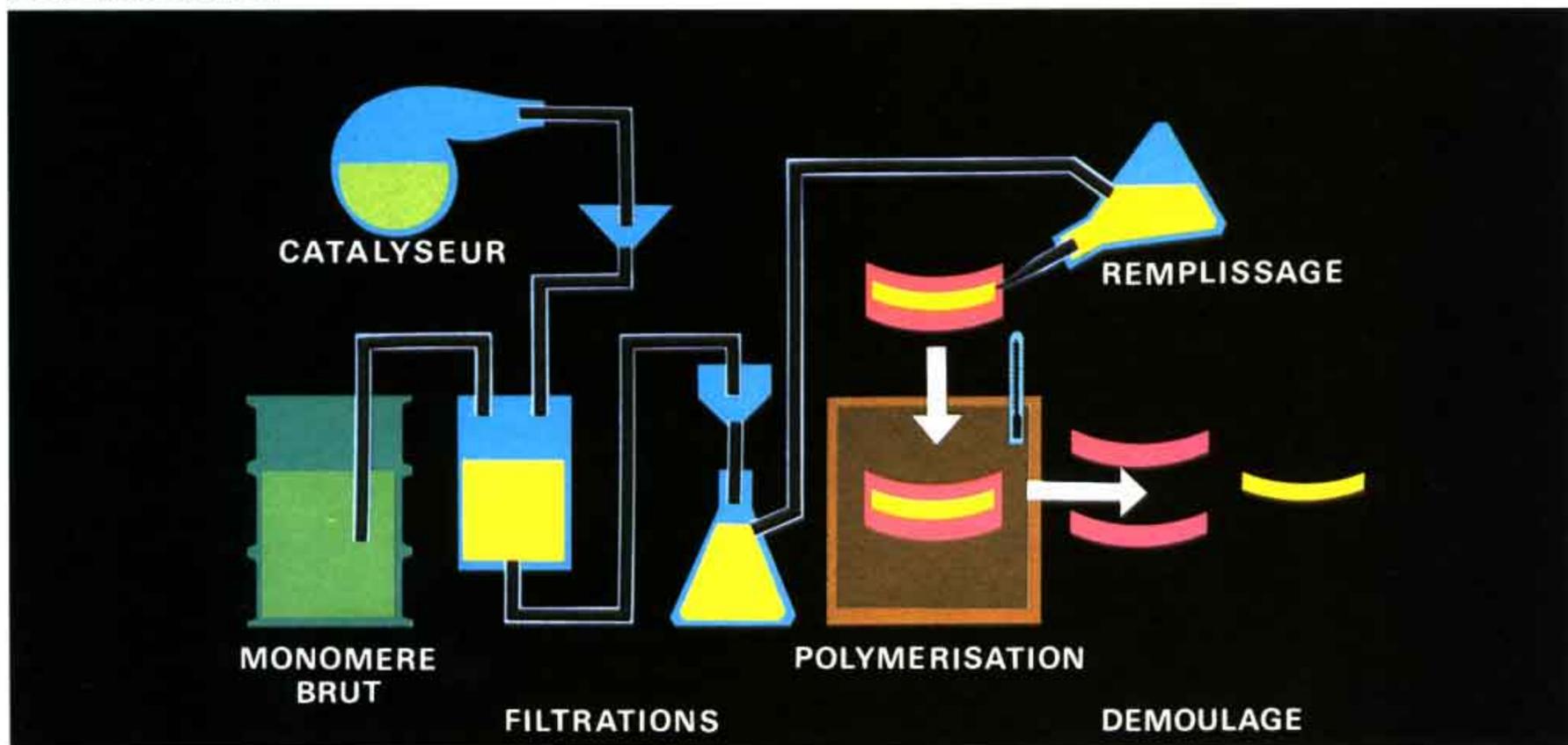
• propriétés absorbantes et coloration

- Les verres blancs réalisés en CR 39, tel l'ORMA, absorbent tous les UV jusqu'à 360 nm, par incorporation d'un absorbeur d'UV dans le monomère.
- Pour teinter les verres, on les trempe dans une eau très chaude contenant des pigments organiques colorés en suspension, mais très bien dispersés.

On réalise ainsi des verres absorbants aux teintes les plus utilisées, marron, verte, grise, et dans les gradations normalisées A, AB, B, C et D pour la protection. Ces différentes teintes peuvent être également dégradées ; foncées en haut du verre et claires en bas.

complément

Schéma des grandes phases de fabrication par polymérisation



fabrication des verres en matière organique ou lentilles

Il y a 2 procédés :

- la polymérisation directe ;
- la polymérisation d'un semi-fini, dont on surfacera la 2^e face ultérieurement.

● fabrication par polymérisation directe

● préparation du monomère

filtration, dégazage, introduction du catalyseur.

● assemblage des parois du moule

Les moules, en verre minéral, jouent un très grand rôle dans la fabrication. Non seulement ce sont eux qui vont donner la forme à la lentille en partant de ses caractéristiques optiques, mais aussi les qualités des surfaces de la lentille qui en sont le fidèle décalque. Ces dernières sont donc surfacées avec le plus grand soin et la plus grande précision. Elles font l'objet d'un très grand nombre de contrôles au cours de leur fabrication pour donner des produits de qualité.

● remplissage du moule

- L'espace vide créé par le joint qui sépare les 2 parois est rempli de monomère liquide.

● polymérisation

Les moules remplis sont placés sur des claies et introduits dans les étuves. Ils y seront soumis pendant 12 à 16 heures à un cycle de températures, régulées, contrôlées pour atteindre le degré de polymérisation désiré.

● démoulage

- Le joint est enlevé, les parois séparées et la lentille brute extraite. Elle est pratiquement terminée. Il ne reste plus qu'à la soumettre à des phases de finition visant à soigner sa présentation.

● phases de finition

Ce sont :
ébavurage ; recuit pour éliminer les tensions ; contrôle d'aspect pour éliminer les lentilles qui pourraient présenter des défauts de qualité ; contrôle des puissances au frontofocomètre ; ensachage et éventuellement stockage pour les produits de grande fréquence.

● coloration

Si les verres doivent être teintés, ils sont dirigés vers les salles de coloration après le contrôle d'aspect. Ils seront à nouveau vérifiés après coloration, puis passés au frontofocomètre et ensachés.

● polymérisation d'un semi-fini, puis finition par surfacage

Les verres de forts foyers, pour myopes, hypermétropes ou aphaques, ou à très fort cylindre, ne peuvent pas être obtenus directement par polymérisation. Les différences d'épaisseurs entre le centre et les bords du verre produisent des tensions auxquelles les moules en verre ne résistent pas.

On fabrique alors des semi-finis : une des faces, généralement la face sphérique, est obtenue définitivement à la polymérisation ; la courbure de la seconde face est approximative et d'un poli imparfait. L'épaisseur aux bords est forte et la différence du centre aux bords atténuée.

La face terminée peut être la face bifocale d'un double foyer ou une face progressive.

La fabrication d'un 1/2 fini est identique à celle d'une lentille finie, mise à part la durée du cycle de polymérisation qui est allongée.

Les 1/2 finis sont généralement stockés. Ils sont ensuite utilisés au fur et à mesure des besoins, et surfacés sur la 2^e face, exactement comme un verre minéral, mais avec abrasifs spéciaux. Cette 2^e face peut être sphérique ou torique.

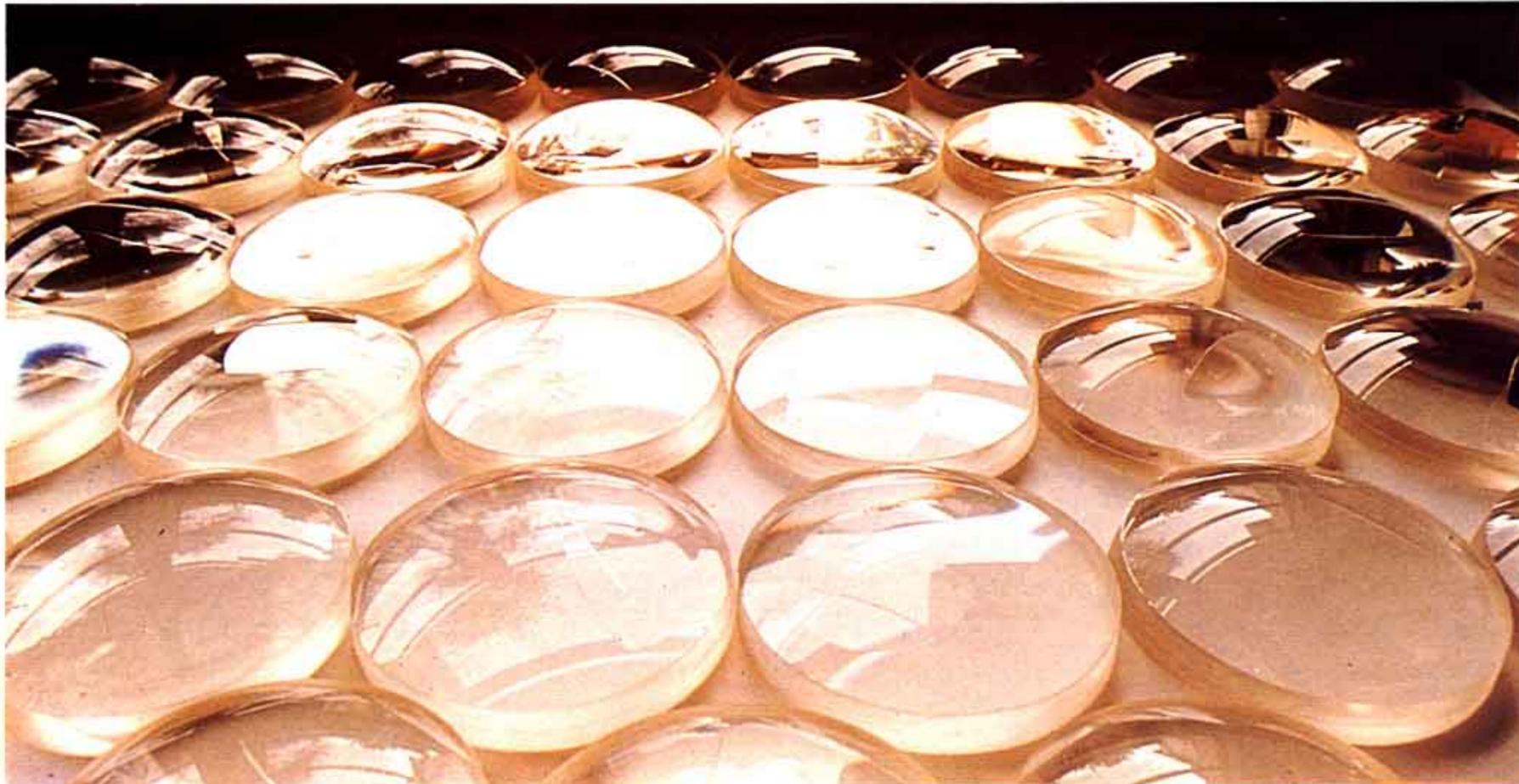
Ainsi tous les verres utilisés en optique oculaire peuvent être réalisés en CR 39.

les verres en matière organique

conclusion

Avec la création du CR 39 et la mise au point de lentilles de qualité de tous foyers, la matière organique obtient enfin ses lettres de noblesse.

Le bilan nettement positif de ses propriétés en fait un matériau exceptionnel qui explique l'essor et la vogue que connaît aujourd'hui l'optique oculaire.



Semi-finis

Retrait à la polymérisation

— En passant de l'état liquide — monomère — à l'état solide — polymère —, le CR 39 se rétracte.

Le retrait est très important : 14 % de la masse, donc

pratiquement de l'épaisseur. Il représente la principale difficulté de la polymérisation des lentilles à foyer, et explique l'impossibilité de dépasser certaines puissances en polymérisation directe.

● propriétés générales de l'Orma

● propriétés physiques et mécaniques

Poids spécifique à 25 °C.....	1,314 - 1,320	Limite tangente convenable en compression, kg par cm ²	499
Dureté :		Résistance au choc, 25 °C, kg par cm/cm :	
● Rockwell	M95 - M100	Izod entaillé.....	1,1 - 2,2
● Barcol 15 sec	25-28 - 28-31	Izod non entaillé.....	11 - 16
● Knoop	11 - 14	Charpy entaillé.....	1,1 - 2,2
Fléchissement 25 °C.....	0,15 mm	Charpy non entaillé.....	16 - 26
Fléchissement 50 °C.....	0,56 mm	Résistance au cisaillement Johnson, kg par mm ²	3,4
Résistance à la traction, kg par mm ²	3,5 - 4,2	Résistance Krouse à la fatigue, kg par mm ² à 10 ⁷ fois.....	1,4
Module d'élasticité sous tension, 10 ⁵ kg par cm ²	0,20	Température de fléchissement sous charge F = 0,25 mm.....	60 - 75 °C
Module de rupture, kg par mm ² :		Température de distorsion, mils.....	10
50 °C.....	3,5 - 4,9	Distorsion à 130 °C.....	0,9 - 1,6
25 °C.....	5,6 - 7	Température maximum de travail recommandée sous aucune charge :	
— 10 °C.....	9,1 - 10,5	Service continu.....	100 °C
— 57 °C.....	11,3	Intermittent (durant 1 heure).....	150 °C
Module d'élasticité, kg par mm ² :		Chaleur spécifique, cal/g/°C.....	0,55
● en traction.....	210	Conductibilité, cal/s/cm/°C.....	5 × 10 ⁻⁴
● en flexion.....		Vitesse de combustion en cm par mn.....	0,13
50 °C.....	110 - 140	Gauchissement.....	0,00
25 °C.....	170 - 230	Absorption d'eau, 24 heures à 25 °C.....	0,2 %
— 10 °C.....	300 - 320		
— 57 °C.....	380		
● en compression.....	210		
Résistance limite à la compression, kg par mm ²	16		

● propriétés chimiques

Chlorure de sodium 1 %.....	0,6	Variation en poids après 7 jours d'immersion, % :	
Peroxyde d'hydrogène 3 %.....	0,7	Eau distillée.....	0,4
Hypochlorite de calcium 15 %.....	0,2	Acide sulfurique 98 %.....	9,4 attaqué
Alcool éthylique 95 %.....	0,1	Acide sulfurique 30 %.....	0,2
Alcool éthylique 50 %.....	0,2	Acide sulfurique 3 %.....	0,3
Acétone.....	0,4	Acide nitrique concentré.....	Décomposé
Acétate d'éthyle.....	0,1	Acide nitrique 10 %.....	0,3
Tétrachlorure de carbone.....	0,0	Acide hydrochlorique concentré.....	0,1 décoloré
Chloroforme.....	1,5	Acide hydrochlorique 10 %.....	0,4
Acide acétique 5 %.....	0,8	Acide hydrofluorique 48 %.....	9,3 décoloré
Acide oléique.....	0,3	Acide hydrofluorique 12 %.....	0,7
Essence.....	0,1	Hydroxide d'ammonium concentré.....	0,5 attaqué
Benzine.....	0,2	Hydroxide d'ammonium 10 %.....	0,4
Toluène.....	0,2	Hydroxide de sodium 50 %.....	0,5 attaqué
Hexam.....	0,2	Hydroxide de sodium 10 %.....	0,2
Huile d'olive.....	0,2	Hydroxide de sodium 1 %.....	0,6
Huile minérale.....	0,1	Carbonate de sodium 2 %.....	0,6

ESSILOR®

