



AVERTISSEMENT

L'article qui suit est une lecture créditable au titre de la formation continue. Selon la formule adoptée en accord avec le Comité de la formation continue, le questionnaire correspondant à ce texte vous sera soumis dans la prochaine publication.

TRAITEMENT DES LENTILLES OPHTALMIQUES

PAR MARTIN DION

LES LENTILLES MINÉRALES

Cet article est le premier d'une série de quatre consacrée aux techniques de fabrication des lentilles. Les articles sont extraits du livre Matériaux d'optique lunetière que l'auteur publie au Centre collégial de développement de matériel didactique (CCDMD).

STRUCTURE DU VERRE

La particularité première du verre est qu'il est un matériau parfaitement amorphe. Une structure amorphe se caractérise par un arrangement désordonné, non répétitif, des atomes ou des molécules qui le composent. Les substances amorphes présentent des propriétés qui leur sont bien particulières : transparence, point de fusion plus faible et plus étendu, structure plus fragile.

La silice, de formule chimique SiO_2 , est le principal ingrédient du verre. Elle provient de sables très purs, présentant de très faibles concentrations d'oxydes métalliques. Ce sont d'ailleurs ces oxydes métalliques qui donnent les différentes couleurs retrouvées dans le sable. La silice existe à l'état naturel sous forme cristallisée. Elle porte alors le nom de quartz. Le quartz est une substance très dure qui s'apparente grandement au diamant au niveau de son point de fusion et sa dureté. Lorsqu'on chauffe le quartz, de nombreuses liaisons se brisent à l'intérieur de sa structure, ce qui rompt son réseau cristallin ordonné. À la suite du refroidissement, de nouvelles liaisons se forment à l'intérieur du matériau, mais dans une disposition complètement différente de celle du quartz. On obtient alors une structure amorphe, désordonnée, propre au verre.

CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET OPTIQUES DU VERRE

La structure amorphe du verre est responsable de nombreuses propriétés physico-chimiques et optiques du verre. Ainsi, le verre, tout comme dans le cas des plastiques amorphes, ne possède pas un réel point de fusion mais un intervalle de température à l'intérieur duquel il ramollit et devient dès lors malléable.

Le verre se démarque de la plupart des matières plastiques par sa grande résistance aux attaques des produits chimiques. Il est particulièrement résistant à l'oxydation puisqu'il est constitué d'oxydes métalliques et non-métalliques, composés déjà présents à l'état oxydé. Cette résistance aux attaques chimiques est toutefois moins importante chez les verres à haut indice de réfraction car les oxydes de niobium et de lanthane qu'ils peuvent



contenir les rendent plus sensibles à différents produits chimiques. L'ajout d'un revêtement antireflet, en recouvrant la lentille, permet de limiter les atteintes sur ces produits. De plus, le verre résiste bien à l'abrasion puisque sa surface est très dure et difficilement déformable. Toutefois, cette dernière propriété alliée à la faible élasticité du verre expliquent pourquoi ce matériau est particulièrement cassant. Lorsqu'il est soumis à un choc, l'énergie transférée par le projectile ne peut se dissiper dans l'ensemble du verre, ce qui peut plus facilement occasionner un bris. Toutefois, on peut traiter le verre à l'aide d'une trempe afin de limiter cette fragilité.

Un des principaux inconvénients associés au verre dans la fabrication de lentilles optiques est sa grande masse volumique. Pour des lentilles de dimensions similaires, la lentille de verre sera plus lourde du double, soit de $2,54 \text{ g/cm}^3$ à $3,99 \text{ g/cm}^3$ pour les différents verres optiques et de $1,20 \text{ g/cm}^3$ à $1,36 \text{ g/cm}^3$ pour les matériaux plastiques de lentilles. Ce surplus de masse peut entraîner un inconfort lors du port de lunettes, particulièrement dans le cas de la présence de grandes lentilles ou de lentilles de fortes puissances. En variant les différents oxydes présents dans le verre, on peut toutefois limiter la masse de la lentille, particulièrement dans le cas des lentilles à haut indice de réfraction.

Le verre présente l'avantage de posséder un coefficient de dilatation thermique inférieur à ceux des plastiques utilisés comme matériau de lentille optique. On entend par dilatation thermique l'expansion que subissent les corps lorsqu'ils sont chauffés. Dans le cas des lentilles optiques, une faible dilatation permet d'améliorer la tenue des traitements de surface comme l'antireflet et la coloration sous vide et n'altère que très peu les propriétés du verre à la suite d'une trempe. De plus, il est plus facile d'effectuer des moulages et des usinages de qualité sur une matière qui ne présente qu'une faible dilatation thermique.

Finalement, le verre peut être coloré dans la masse en lui ajoutant des pigments lors de sa fabrication ou en surface par dépôt sous vide. Contrairement aux matières plastiques, le verre n'est pas coloré par simple trempage dans un bain colorant puisqu'il reste un matériau très peu poreux. Cette dernière propriété permet toutefois de faciliter le nettoyage

de la lentille puisque les dépôts de surface ne s'y fixent que très faiblement.

Au niveau optique, le verre présente un excellent indice de réfraction de 1,523. De plus, seul le verre permet de fabriquer des lentilles avec des indices de réfraction pouvant atteindre 1,9. On peut ainsi, pour une même correction visuelle, utiliser des lentilles plus minces, donc plus esthétiques.

Le verre présente la meilleure constringence avec un nombre d'Abbe supérieur à ceux des autres matériaux de lentille optique, soit 58,4. C'est donc un matériau très peu dispersif qui permet de limiter grandement l'apparition d'aberrations chromatiques en périphérie des lentilles.

Malheureusement, le verre n'absorbe que très faiblement les rayons ultraviolets. On peut dès lors lui ajouter un traitement de surface qui améliore la capacité d'absorption de ce type de rayon.

FABRICATION DES LENTILLES EN VERRE

Les premières lentilles en verre fabriquées à plus grande échelle étaient originellement formées en soufflant une sphère à partir de verre en fusion. Cette sphère était ensuite tournée rapidement sur elle-même de façon à la transformer en une grande couronne légèrement concave de plus d'un mètre de diamètre (figure 1). On laissait ensuite refroidir cette couronne qu'on taillait ultérieurement aux dimensions et formes voulues. Ce type de verre, portant l'appellation *crowns* (couronne, en anglais), est encore aujourd'hui celui le plus couramment rencontré en optique. Sa composition reste essentiellement la même qu'à l'époque mais sa mise en forme est aujourd'hui différente.

Fabrication artisanale du verre crown

Le verre soufflé est tourné sur lui-même et s'étend sous l'influence de la force centrifuge. Les lentilles étaient finalement directement découpées dans la couronne de verre ainsi obtenue.

Au début du XXe siècle, les lentilles de verre étaient taillées dans des plaques de verre avant d'être surfacées par pressage manuel afin d'obtenir les courbures voulues. Ce n'est qu'après la deuxième Guerre mondiale que l'élaboration de techniques plus performantes de production de feuilles de verre permit d'obtenir des verres optiques de grande



Photo tirée de www.conservatoryinfo.co.uk/images/history01.jpg

qualité. Finalement, l'automatisation de l'ensemble du processus et l'introduction du procédé de moulage ont rendu possible la production à grande échelle de ce type de lentilles.

La première étape de fabrication des lentilles consiste à doser et mélanger les ingrédients avec une grande précision. Nous avons vu précédemment que le verre est en fait de la silice fondue et refroidie afin de créer un réseau amorphe. Toutefois, la silice seule ne permet pas d'obtenir un verre optique satisfaisant. Ainsi, on ajoute des oxydes en diverses proportions pour, par exemple, améliorer l'indice de réfraction ou augmenter la résistance à la chaleur. Le verre crown est riche en oxyde de sodium et de calcium et est conséquemment aussi qualifié de verre sodo-calcique. En augmentant la concentration d'oxyde de bore, on obtient un verre appelé borosilicate qui se prête particulièrement bien aux lentilles photochromiques. Il existe également un verre riche en oxyde de plomb appelé *flint* qui était utilisé pour fabriquer des lentilles à haut indice. Toutefois, en remplaçant aujourd'hui l'oxyde de plomb par des oxydes de titane, on obtient des lentilles d'indices équivalents mais plus légères et présentant moins d'aberrations chromatiques. En effet, les verres flint ont la particularité de présenter un nombre d'Abbe inférieur à 50 alors que les verres crown ont des valeurs supérieures à 55.

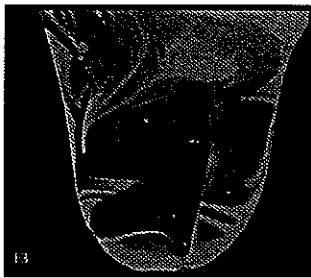
Une fois les matières premières pesées et uniformément mélangées, on passe à l'étape de la fusion en ajoutant aux oxydes de départ une certaine proportion de calcaire. Le calcaire est en fait du verre de même composition que celui qu'on cherche à obtenir et qu'on a préalablement récupéré et broyé. La présence de calcaire facilite la fonte du mélange de départ en abaissant sa température de fusion.



L'étape suivante, l'affinage, consiste à augmenter la température du mélange en fusion de façon à se débarrasser de tout gaz résiduel encore présent dans la masse. Ces impuretés auraient pour effet de colorer le verre et ainsi d'affecter ses propriétés optiques. Finalement, le verre en fusion passe dans un tube de coulée à une vitesse constante et est ensuite coupé par des ciseaux spéciaux pour former une paraison. Celle-ci est une goutte de verre de masse constante qui est directement versée dans le moule.

Coupe d'une paraison

A) À la sortie du tube de coulée, des ciseaux coupent la masse de verre pour obtenir des paraisons uniformes qui sont versées directement dans des moules.

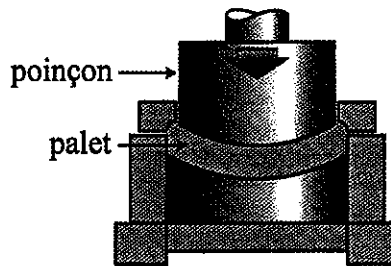


B) Gros plan d'une paraison. (Source : Corning)

Le pressage de la masse encore liquide se fait à l'aide d'un poinçon qui comprime le verre en lui imposant la courbure concave du palet ainsi formé. La forme du moule, quant à elle, définit le diamètre externe, la courbure convexe et la forme des bords du palet.

Mise en forme du palet à l'intérieur du moule de coulée

La pression exercée par le poinçon permet de distribuer uniformément la masse de verre en fusion à l'intérieur du moule pour former le palet. (Source : Corning)



À la sortie du moule, le palet est pratiquement terminé. Toutefois, le fait de chauffer le verre à haute température et de le refroidir par la suite entraîne inévitablement des tensions à l'intérieur même de sa structure. Les verres subissent donc un traitement thermique qui consiste à les chauffer à l'aide de torches à une température comprise entre 550°C et 700°C. Ils sont par la suite refroidis à une vitesse contrôlée. Cette opération permet de faciliter la prochaine étape de fabrication, soit le surfaçage du palet.

Les palets ainsi formés peuvent être vendus tels quels aux professionnels de

l'optique. Toutefois, on retrouve de plus en plus de lentilles stock, c'est-à-dire des palets déjà surfacés selon les prescriptions les plus fréquemment rencontrées. Dans ce dernier cas, les palets subissent le surfaçage directement chez le fabricant de la lentille. Ce type de lentille est produit à la suite d'un usinage en trois étapes. L'ébauchage permet de conférer au palet son épaisseur définitive et les rayons de courbure interne et externe correspondant à la puissance de la correction prescrite à l'aide d'une fraise en rotation. La seconde étape appelée « doucissage » consiste à abraser le verre avec un disque en émeri en suspension dans de l'eau. On utilise aussi une pellicule abrasive contenant des grains très fins de diamant. On obtient à la suite de cette opération des courbures, une épaisseur et un diamètre très précis. Les surfaces sont toutefois dépolies et doivent alors subir un traitement de polissage afin de les rendre transparentes. La figure 4 illustre les trois étapes de surfaçage nécessaires à la fabrication de lentilles stock en verre.

Surfaçage des palets

Dans les trois étapes de surfaçage ci-dessous, les palets sont transformés en lentilles par différents disques et fraises en rotation. Ce procédé est répété sur les deux faces de la lentille. 