

Pégase



Revue trimestrielle
de la Société Fribourgeoise
d'Astronomie

N° 33 – Été 1994

LE DEVELOPPEMENT DES LENTILLES COMPACTES A IMMERSION A HUILE

L'utilisation de fluides associés à des systèmes optiques n'est pas nouvelle. Depuis environ 100 ans, on applique un tel procédé en microscopie. La lentille frontale d'un objectif particulièrement calculé à cet effet, est plongée dans une goutte d'huile se trouvant sur le couvre-objet protégeant la préparation à observer. Ce procédé a permis d'augmenter très fortement le pouvoir séparateur de ce type d'objectif, car l'angle des rayons admis passe de 40° à bien 70° . Sans l'usage de ce "pontage à huile", une telle prouesse ne serait pas possible. La figure 1 montre qu'au-dessus de 40° il y a réflexion totale des rayons lumineux, sans adjonction d'huile. (Voir partie droite du dessin).

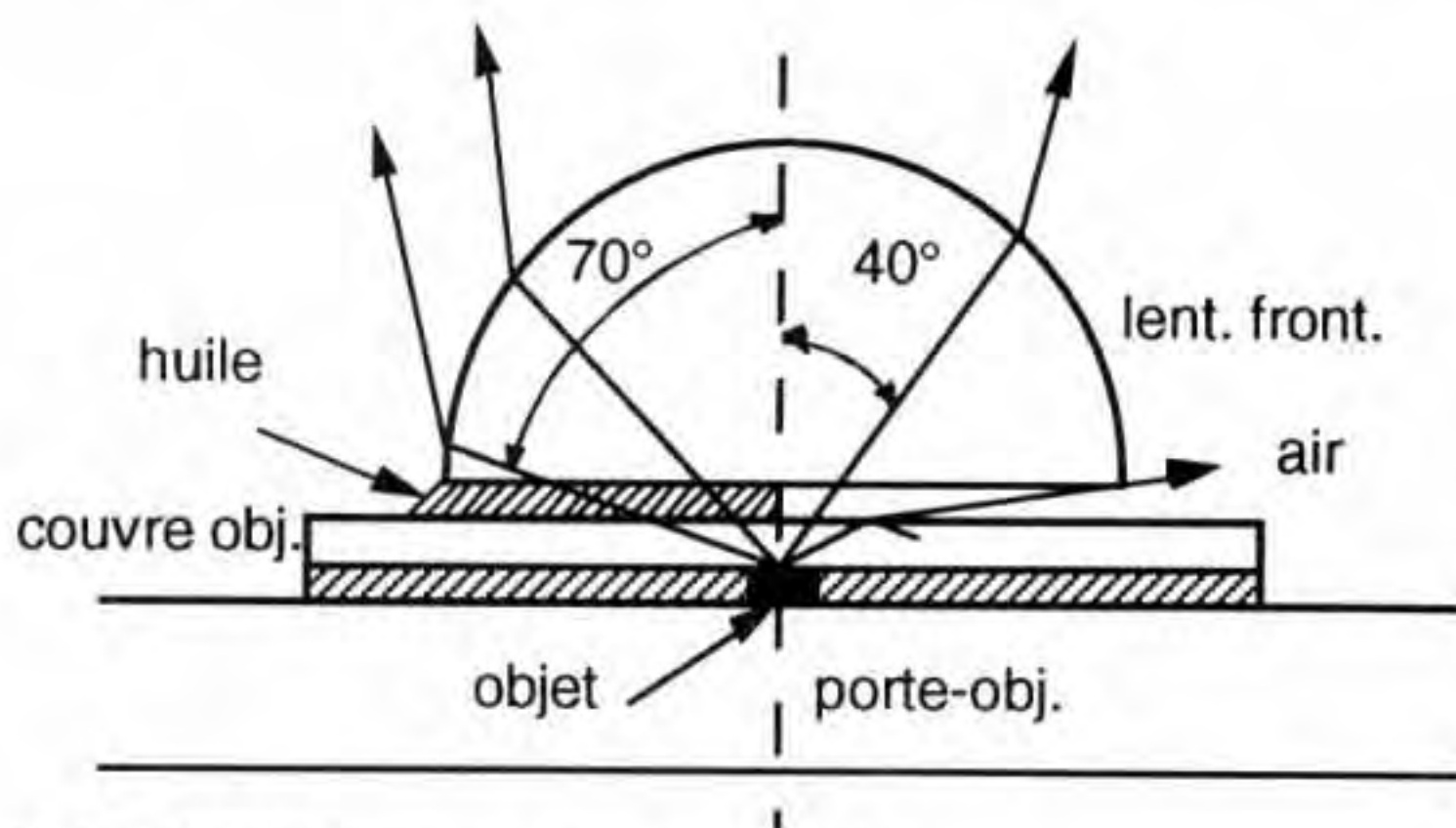


Figure 1: Effet de l'immersion en microscopie

Les systèmes dioptriques utilisés en astronomie sont habituellement "secs". On a recours à l'association de deux ou plusieurs lentilles de types de verres différents; lentilles que l'on postpose à l'aide de cales, produisant ainsi les filets d'air entre les verres. Ce procédé produit, sans précautions particulières,

une perte significative de lumière transmise et ce, par réflexion sur chaque surface polie. Les traitements antireflets apportent une amélioration très appréciable et donc, augmentent la transmission de lumière. Certes, depuis fort longtemps, on a compris que l'usage d'un "liant" adéquat permettait justement d'éviter les réflexions sur les surfaces internes. C'est pour cette raison (parmi d'autres) que l'on a commencé à appliquer des résines, soit naturelles ou synthétiques, qui tenaient lieu de "liant" entre les verres en présence. On obtenait et obtient toujours des objectifs collés. Ce sont des objectifs de ce type que l'on trouve dans les jumelles, microscopes et autres petites lunettes. Ce procédé améliore la transmission de la lumière et fixe les lentilles par collage, en une position bien déterminée. Ce procédé de collage semble tout idéal, mais il y a malheureusement un revers de la médaille. Le collage rendra solidaire les différents verres en présence, ce qui devient préoccupant lorsque le coefficient de dilatation est très différent pour chaque type de verre. Lors d'un changement de température, l'on assistera alors à des effets de tensions plus ou moins accentuées, sources de sévères pertes de qualité de l'image, construites par ce genre d'optique. Aussi est-on limité quant au diamètre des optiques, supportant sans dommage le collage. En effet, la limite est atteinte pour un objectif de 100 mm de diamètre. Par ailleurs, les verres devront présenter un coefficient de dilatation très similaire, afin de minimiser les effets néfastes signalés plus haut. Ce fait limite grandement le choix des verres. On comprend donc bien qu'un liant fluide n'introduira aucun effet mécanique, c.à.d. aucune tension occasionnée par une dilatation. De là, tout l'intérêt d'un tel coupleur optique! Un objectif composé de deux ou plusieurs lentilles "pontées" par de l'huile d'un indice de réfraction adéquat, se comportera comme un corps unique, donc compact, raison pour laquelle on appelle ce type d'objectif aussi "lentille compacte". Le choix des verres n'est nullement limité, avantage extrêmement précieux!

Un brin de théorie

Il est bien connu qu'une seule lentille ne peut concentrer les rayons lumineux en un seul point, car chaque longueur d'onde

trouvera son foyer et ce, à des distances focales différentes. Ainsi, l'image s'en ressentira, car elle présentera une irisation de couleurs. La combinaison de deux lentilles de compositions chimiques différentes, tel le verre crown et flint, permit déjà au 18ème siècle de produire des optiques achromatiques, c.à.d. exemptes de coloration, expression euphémiste, car une observation plus poussée montre bien que la coloration est, si même résiduelle, toujours perceptible! En usant de forts agrandissements, cette coloration sera évidente! Un objectif apochromatique sera celui, dont le chromatisme résiduel aura été repoussé de telle sorte qu'il n'en paraîtra plus! Exempt de tout chromatisme, même minime, ne sont que les miroirs! Le seul objectif effectivement apochromatique fut, jusqu'à l'aube de la seconde guerre mondiale, le trilentculaire de Carl Zeiss, Jena, c'était le fameux objectif "B". La figure 2 vous montre différents types de configurations optiques, entre autres aussi le "B".

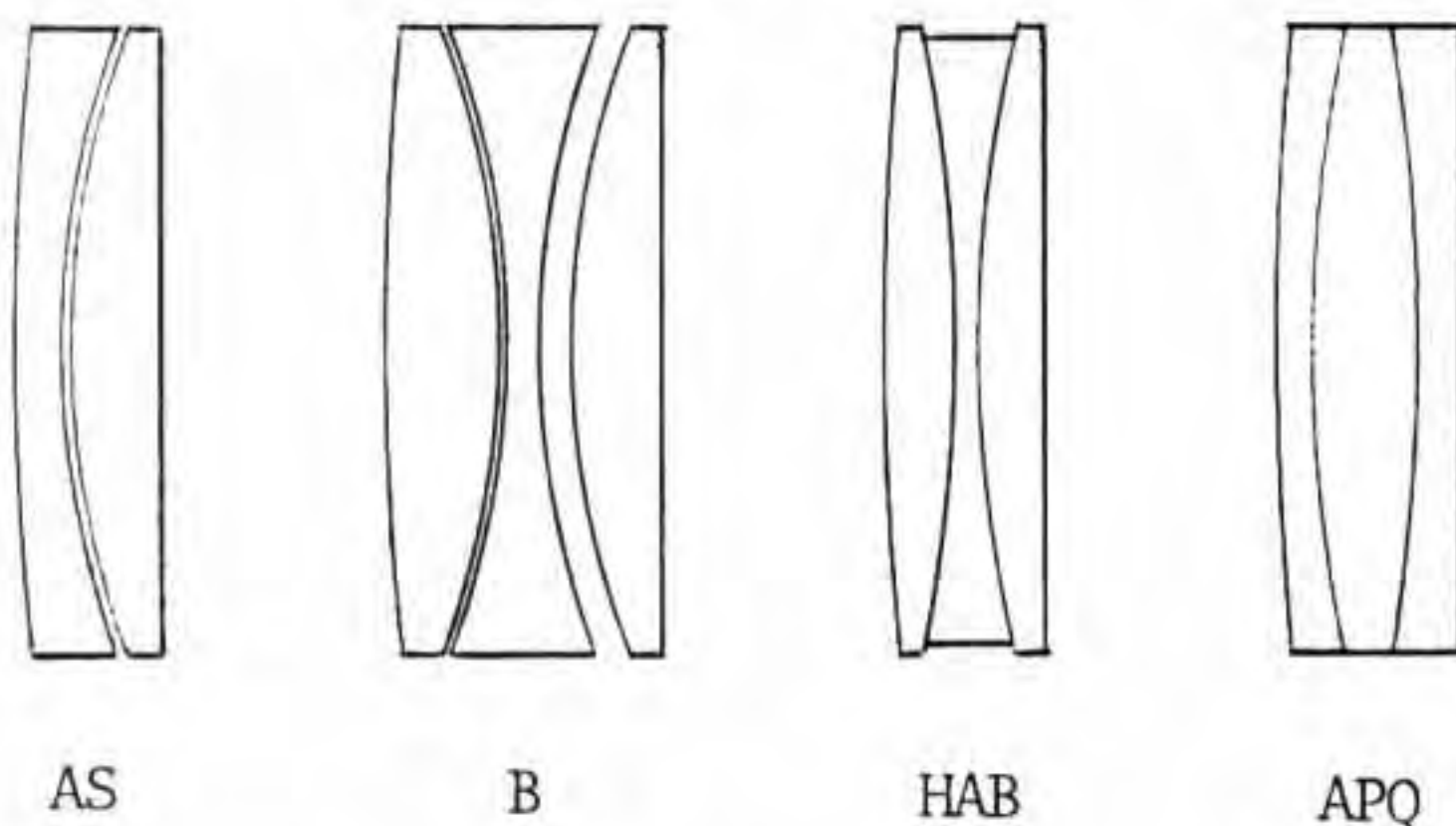


Figure 2: AS et B avec filet d'air, HAB et APQ avec huile.

L'apochromate du pauvre

Connaissant les vertus, mais aussi le prix de l'objectif "B", je décidai au début des années 70, d'en construire une version simplifiée. C'est alors qu'un texte émanant de Zeiss, m'apprit que cet objectif ne serait plus fabriqué, vu sa grande sensibilité au décentrage. En effet, il suffit qu'une des 3 lentilles soit décentrée

de façon minimissime, pour que cet objectif perde, de ce fait, ses merveilleuses caractéristiques. Il me fallait donc orienter mes recherches autrement, au vu des difficultés que Zeiss venait de signaler. Ainsi, mon projet ne pouvait aboutir qu'en faisant appel aux lentilles compactes, c.à.d. liées par un médium fluide. Si, cela fut ma réflexion, il restait des erreurs, l'on pouvait les lever en agissant sur l'une des faces externe du système. Il est important de signaler ici, que de petites erreurs de fabrication des surfaces internes seront, par l'adjonction d'un médium fluide adéquat, minimisées d'un facteur de plus de 100, autre vertu du coupleur huileux. La figure 3 fera comprendre l'enjeu, illustrant le problème des petites tolérances desquelles on dispose, lors d'une conception à "sec", tel que le représente l'objectif AS de Zeiss.

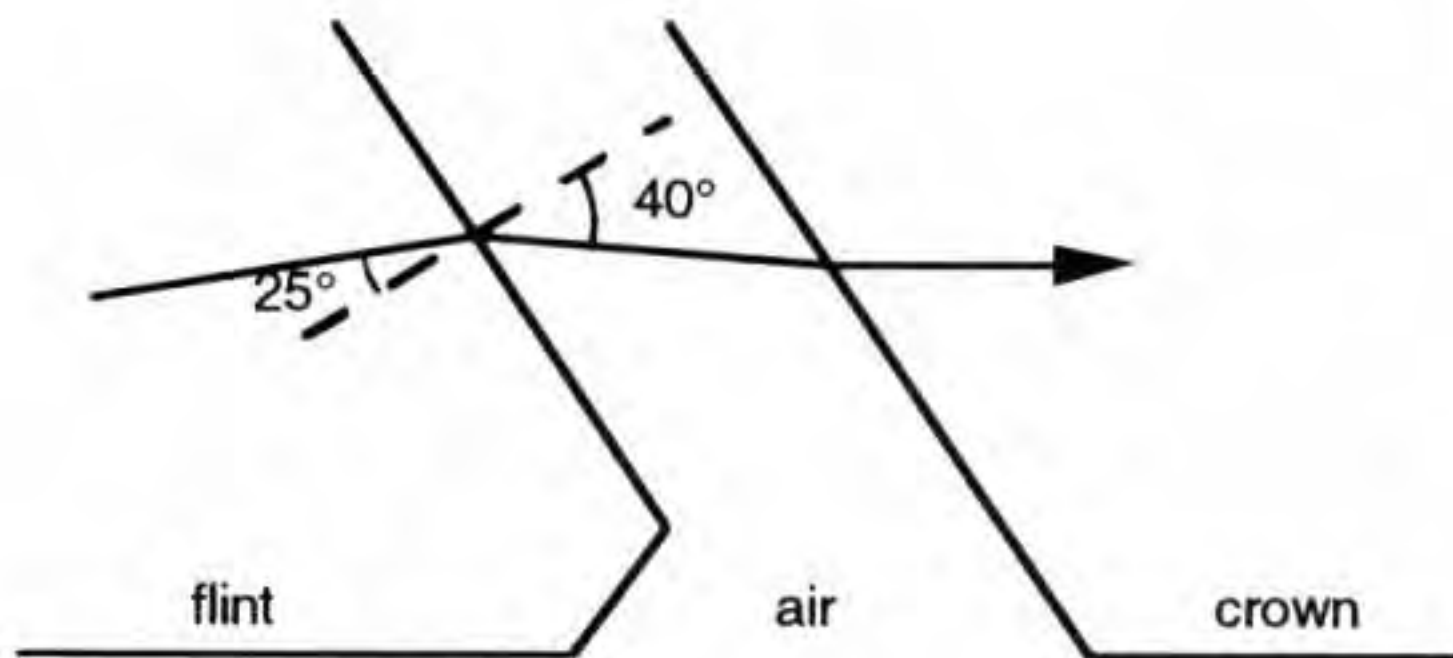


Figure 3: bord d'un objectif AS, agrandi env. 100 fois.

Le rayon lumineux qui émerge de la lentille flint est dévié de 15° vers l'extérieur et traverse un filet d'air de 0.2mm. En entrant dans la lentille crown, il sera à nouveau dévié, mais vers le centre. La différence de ces deux réfractions est de 0.25° et doit être maintenue avec une tolérance de 0.0002° . C'est cela qui rend la manufacture et le centrage de cet objectif si difficile.

Pour un système à immersion, l'aberration de sphéricité sera levée, en opérant un choix judicieux des types de verres en présence. Ce choix n'est pas une mince affaire, car l'opticien dispose de plus de 250 verres de types différents. Finalement, j'ai retenu deux types de verres constituant un objectif de trois lentilles, dont les deux externes avaient les mêmes caractéristiques. Aussi ce choix a-t-il permis de conférer aux

faces internes des courbures très faibles, produisant par là une erreur de Gauss très petite, avantage non négligeable! D'autre part, la lentille médiane, d'un diamètre de 2 mm plus petite que les autres, permettait un centrage de celle-ci à volonté, grâce à un dispositif de quatre vis en matière plastique, placées radialement à 90° les unes des autres dans le barillet. Par ce dispositif, l'astrophile constructeur d'optique sera en mesure de parer aux erreurs de centrage, erreurs tellement redoutées et redoutables!

Mais les avantages du coupleur huileux ne s'arrêtent pas en si bon chemin. L'amateur constructeur connaît bien les difficultés inhérentes à la taille du verre et surtout au polissage. Laissées à l'état translucide de la phase de doucissage, les 4 faces internes de notre objectif deviendront, à l'aide de l'huile, totalement transparentes. (qui ne connaîtrait l'effet d'une tache d'huile sur un papier blanc ?). L'illustration qui suit montre bien cet effet. Une partie des verres se trouve en contact avec l'huile, l'autre non! Le constructeur fera donc l'économie du polissage de 4 faces, travail fastidieux!



Illustration 4

Les premiers objectifs

Je fis donc ébaucher et tailler les verres auprès d'une petite entreprise d'optique. Le travail de mise en forme finale fut entrepris par moi-même. Ainsi naquit mon premier objectif à immersion d'huile!. Il s'agissait d'un semi-apochromate amélioré. Je lui conférai le sigle de HAB (HalbApochromatischer Bausatz), ce qui signifie dans la langue de Voltaire : semi-apochromate en Kit. Cet objectif de 150 mm de diamètre et de 2250 mm de focale montrait un chromatisme résiduel plus petit que le AS de Zeiss. Il a été exposé à la FOTOKINA à Cologne en 1976. Une publication le concernant est parue dans la revue "Sterne und Weltraum" en 1977. Cet objectif, actuellement en service depuis 14 ans en Suède, exposé à des variations de températures allant de -25° à +35°, n'a pourtant montré aucune altération. Résultat satisfaisant! Aussi, dès 1977 la maison d'optique susmentionnée, offrit un Kit en deux versions à l'amateur constructeur, soit le HAB 150/2250 ou le HAB 130/1900. Bien des amateurs d'astronomie ayant uniquement l'expérience en taille et polissage de miroirs paraboliques, ont acquis ce Kit pour un prix abordable.

D'autres objectifs à coupleur optique

En 1981, Roland Christen, USA, proposait dans la revue "Sky and Telescope", un développement ultérieur de mon objectif. Christen faisait appel à des verres lourds et onéreux, la configuration restant la même que celle du HAB. Par la suite, il passa d'un médium à base d'huile à un coupleur à base de résine synthétique. La correction chromatique de cet objectif est aussi bonne que celle du Zeiss "B". Depuis lors, les amateurs utilisent cet objectif, particulièrement pour l'astrophotographie.

Depuis 1985? Zeiss, Jena, a commencé à produire un tout nouveau type d'optique contenant, entre deux lentilles en crown, une lentille en cristal de fluorite de calcium CaF₂. Cette lentille issue d'un cristal artificiellement créé, possède des propriétés optiques exceptionnelles. Ainsi, par ex. la dispersion est

beaucoup plus petite que celle des meilleurs verres. Cette condition est fondamentale pour réaliser une optique de toute première qualité! La dilatation du CaF₂ étant plus importante, le recours au coupleur huileux s'avère être un moyen idéal car n'entraînant, comme déjà signalé, aucune perturbation. L'objectif ainsi créé par Zeiss, le fameux APQ (Achromatische Qualität) atteint l'apochromasie que seuls les miroirs offrent! C'est dire la qualité! N'oublions non plus que Zeiss a réussi le tour de force d'atteindre une transmission de la lumière, arrivant à la valeur inouïe de plus de 97%. Pour l'avoir testé très à fond, je puis dire que le APQ de Zeiss, Jena, est un chef-d'oeuvre de l'optique!

Considérations finales

Mon exploration des années 70 était placée sous le signe de l'économie. Non seulement les frais immédiats devaient rester très limités, mais encore le temps de travail à investir n'osait-il pas dépasser des limites raisonnables. Puis, la fabrication d'un objectif de haute performance, sous forme d'un Kit, devait rester accessible pour un prix modique et de plus, n'occasionner aucune difficulté majeure de l'assemblage. Je crois que le but a été atteint! A jamais restera énigmatique, la raison pour laquelle ce type d'objectif (HAB) ne fut pas construit dès l'aube de ce siècle, car, tous les éléments pour y parvenir étaient déjà présents. Il en va, bien entendu autrement, en ce qui concerne l'objectif APQ qui, lui, requiert la présence de grosses lentilles tirées de gros cristaux conçus artificiellement, technologie récente! □

Wolfgang Busch
Ahrensburg, Deutschland