

Analyse de la lunette apochromatique FLT-98 Williams Optics.

par Charles Rydel

Société Astronomique de France.

Publié dans le n° de novembre 2009 de l'Astronomie.

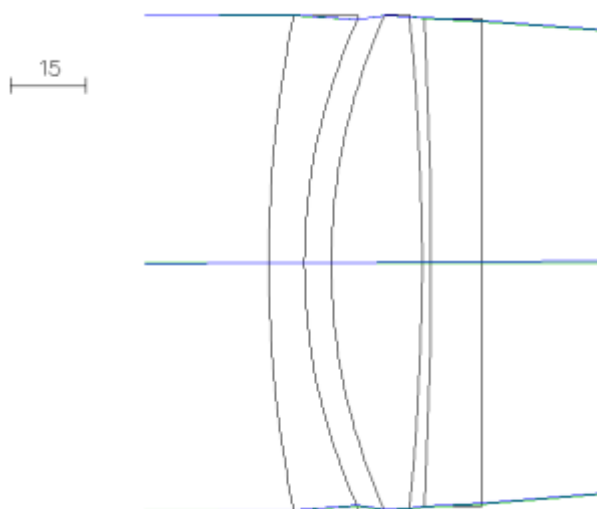


Fig.1 Vue en coupe de l'objectif de la lunette FLT-98.

EN EXCLUSIVITE pour les lecteurs de l'Astronomie, la revue de la Société Astronomique de France, **Andrey Strakhov**, le patron de la société Astreya, a accepté de révéler la formule optique de la lunette apochromatique FLT-98 de Williams Optique dont il a créé l'optique. Il s'agit d'un triplet (Fig.1) composé d'une lentille positive en FPL-53, un verre spécial produit par le verrier japonais Hoara. Elle est enfermée entre deux lentilles négatives qui protègent ce verre fragile proche de la fluorite des agressions extérieures. A titre documentaire, la première de ces lentilles est réalisée dans un verre équivalent au classique BK7, la troisième lentille est une production propre à Hoara.

Si ces deux lentilles sont assez économiques, il faut savoir que le FPL-53, qui est un des produits les plus chers de la gamme du verrier, est environ 15 fois plus coûteux que le BK7. En

outre, il est difficile à travailler étant à la fois assez mou et assez hygroscopique, moins toutefois que la fluorite tout en ayant des caractéristiques très proches, mais surtout bien moins problématique que les verres des apochromats du début du vingtième siècle produit par Zeiss par exemple, qui avaient en outre le fâcheux défaut de nécessiter une faible ouverture (F :15-20) pour être réalisable car les courbures internes étaient très forte et les problèmes de centrage difficiles à résoudre. C'est qu'en fait, ils descendent en ligne directe du premier triplet apo inventé par Taylor en 1892 et les verres de ce temps ne sont pas ceux d'aujourd'hui !

C'est en fait la présence de ce matériaux miracle, le FPL-53 et le travaille qu'il nécessite qui justifie le prix des objectifs apochromatiques, mais c'est aussi en lui que réside la valeur ajoutée de l'apochromatisme et la possibilité d'en profiter et nous allons voir sans surprises que le résultat est au rendez-vous pour cette lunette de 98mm de diamètre et de 630mm de focale et donc ouverte à F :6,3. Il convient de signaler aussi une autre raison de ces qualités, qui réside dans le fait que les lentilles sont séparées, ce qui augmente le nombre de rayons de courbure utilisables et donc la qualité des corrections possibles. La contrepartie est un prix sans doute plus élevé (mais qui reste raisonnable) à cause entre autres des traitements antireflets plus nombreux, des centrages etc., mais les résultats sont là.

Les simulations.

Elles ont été réalisées avec le logiciel OSLO Edu qui est disponible gratuitement sur internet. Nous allons d'abord observer les diverses aberrations pour trois longueurs d'onde correspondantes aux trois raies classiques : d (0,588 μ), F (0,486) et C (0,658 μ). Ces performances sont un maximum, un idéal pour le fabricant, qui sera obligé de travailler avec des tolérances lesquelles inévitablement, tendront à diminuer les performances.

Champ étroit.

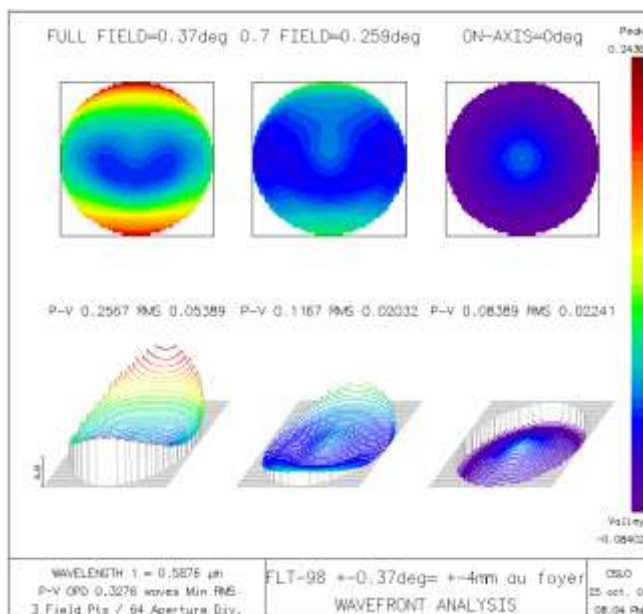


Fig.2 Front d'onde pour un champ à $\lambda/4$ pic à Vallée à 0,568 μ pour trois zones du champ. On est limité par la diffraction Jusqu'à $\pm 0,37^\circ$. Au bord, c'est la courbure de champ qui domine.

Nous avons choisi un champ de $\pm 0,37^\circ$ soit un diamètre de 8mm au plan focal, car les simulations montrent que dans ce domaine on est limité uniquement par la diffraction. C'est ce que l'on peut voir sur la figure 2 pour la longueur d'onde centrale. Les mêmes simulations réalisées pour les longueurs d'onde extrêmes F et C donnent des résultats quasiment identiques. A $0,37^\circ$ on peut voir que c'est la courbure du champ, inévitable dans ce type de combinaison optique, qui limite les performances ; la mise au point est décalée de 50 μ . En revanche, aux bords d'un champ égal à celui du disque lunaire, on est à seulement $\lambda/8$ Pic à Vallée, ce qui est absolument excellent et il est probable que l'utilisation d'une Barlow devait encore améliorer les

choses. En revanche pour celui qui s'intéresse au grand champ, un correcteur sera inévitable, mais pourra entraîner une distorsion non négligeable.

Examinons maintenant l'aberration sphérique longitudinale pour divers longueurs d'onde (sphérochromatisme) et le chromatisme longitudinal sur la figure 3. Assez classiquement les courbes du rouge et du bleu se croisent vers 70% du rayon de la lentille d'entrée avec la courbe du vert au milieu. Ceci est la conséquence de la courbe en forme de « S » que l'on voit à droite est qui est typique des apochromats, alors qu'elle a la forme d'un « U » pour les achromats. La correction est très large, 395 à 950nm, ce qui entraîne un chromatisme longitudinale de -0,1mm vers 0,45 μ et de +0.1mm vers 0,75 μ , ce qui peut sembler un peu élevé mais c'est le prix à payer pour avoir une lunette courte constituée de seulement trois verre avec une excellente couverture spectrale. C'est là le choix de A.Strakhov qui devait correspondre au cahier des charges de William Optics. On le voit à gauche de la fig. 3 avec la courbe bleu claire ($\lambda=0,85\mu$) qui part vers la gauche et elle partirait de même vers la droite pour 0,35 μ .

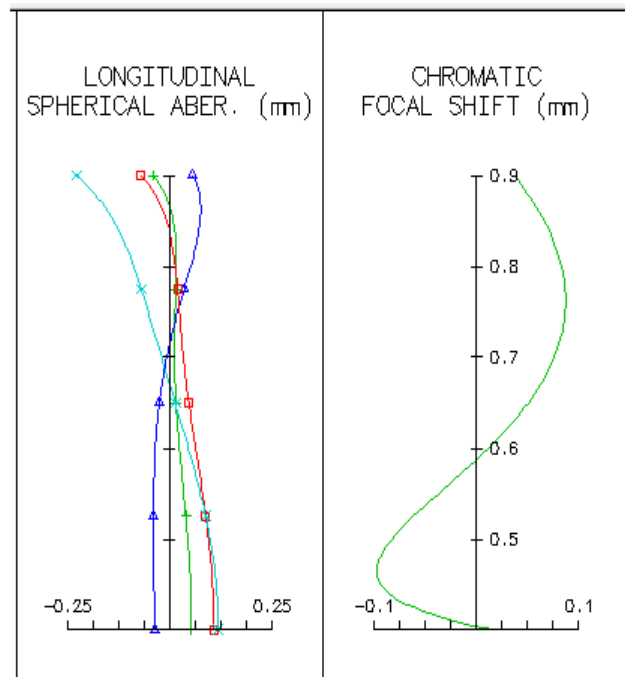


Fig. 3 A gauche, le sphérochromatisme montre un bon équilibre dans le visible. A droite, l'erreur de mise au point, due au chromatisme résiduelle est contenue dans $\pm 0.1\text{mm}$ seulement.

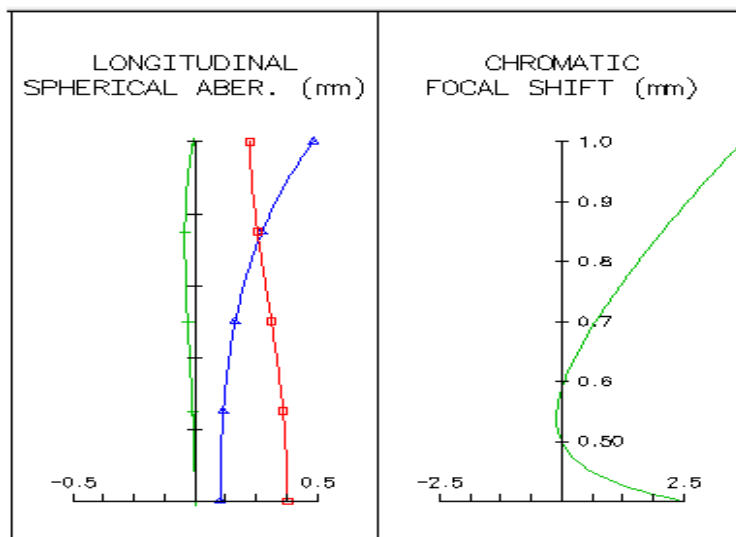


Fig.4 A droite, caractéristiques en «U» d'un doublet classique de 98mm de diamètre et de même focale que la lunette FLT-98. A gauche le sphérochromatisme. Les performances sont loin de celle d'un apochromatique !

Pour ceux qui n'en sont pas encore convaincu, voici Figure 4 à gauche, comment se présentent les courbes de sphérochromatisme pour les trois longueurs d'onde de référence. Le décalage dans le bleu atteint 0,5mm alors qu'il n'est que de 0,17mm pour l'apochromat figure 3. Mais la situation se dégrade vraiment aux extrêmes. A 400nm on atteint 2,5mm de décalage de mise au point et vers 1 μ environ 4mm !

Cela signifie que les performances se détériorent. Il n'en demeure pas moins que dans le visible, les performances sont excellentes et qu'en photo elles seront déterminées par la courbe de sensibilité du capteur, laquelle chute aux extrêmes. La première vocation de cette lunette est donc le visuel.

On peut donc dire que le designer a vraiment tiré le maximum de ce que l'on peut faire avec trois verres bas coût. Sans doute le choix d'un verre très particulier (verre au titane) pour la troisième lentille aurait permis quatre croisements dans la courbe de chromatisme au lieu de trois, ce qui aurait constitué un «SAPO » ou super apochromatique mais le prix aurait été bien plus élevé.

Champ large.

Il reste à nous intéresser aux performances en ciel profond, entendons par là un champ diamétral de $1,2^\circ$ qui couvre la dimension d'un capteur $\frac{1}{2}$ pouce. Notre voyons apparaître deux ennemis ici. Le premier s'appelle « courbure de champ », laquelle équivaut à avoir une image défocalisée en bord de champ, ici de plus de 0,1mm. Le second s'appelle « astigmatisme » et il donnera à la tache défocalisée, une forme allongée de forme elliptique. C'est ce que l'on peut voir sur le spot diagramme de la figure 5. Il donne une bonne idée de la forme qu'aurait une étoile photographiée au foyer de la lunette.

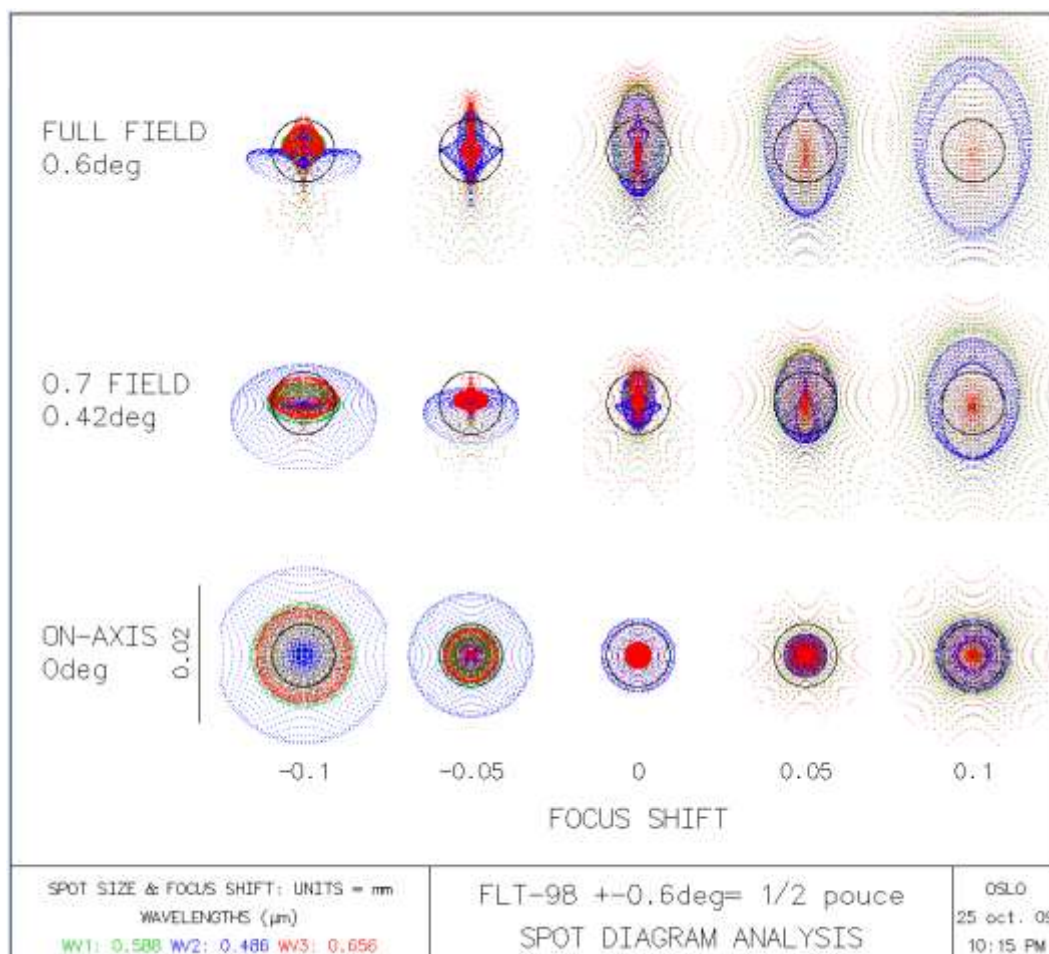


Fig.5 Résultats pour un champ de 6,5mm en bord de champ. Un léger décalage en intra focale de la mise au point améliorera l'image aux bords.

Il est possible d'améliorer les choses en décalant la mise au point de -50 µm en intra focale. Le bord redevient excellent, le centre est mauvais dans le bleu mais si on photographie une galaxie sans résoudre les étoiles qui la compose, ce réglage se défend. Ceci semble le maximum que l'on peut espérer de cette lunette si on ne lui ajoute pas un correcteur.

Un test interférométrique.

Il nous reste à faire témoigner fig. 6 les mesures interférométriques d'une FLT-98 par W.Rohr à la demande du propriétaire d'une de ces lunettes. Ainsi le P/V est de 7, le rapport de Strehl est de 0.975 et l'erreur sur l'onde de $\lambda/39$ rms, ceci à 632nm. J'ai eu l'occasion de voir un autre interférogramme avec un rms de $\lambda/37$ et un Strehl de 0,972. Les résultats sont donc en ligne avec les considérations précédentes.

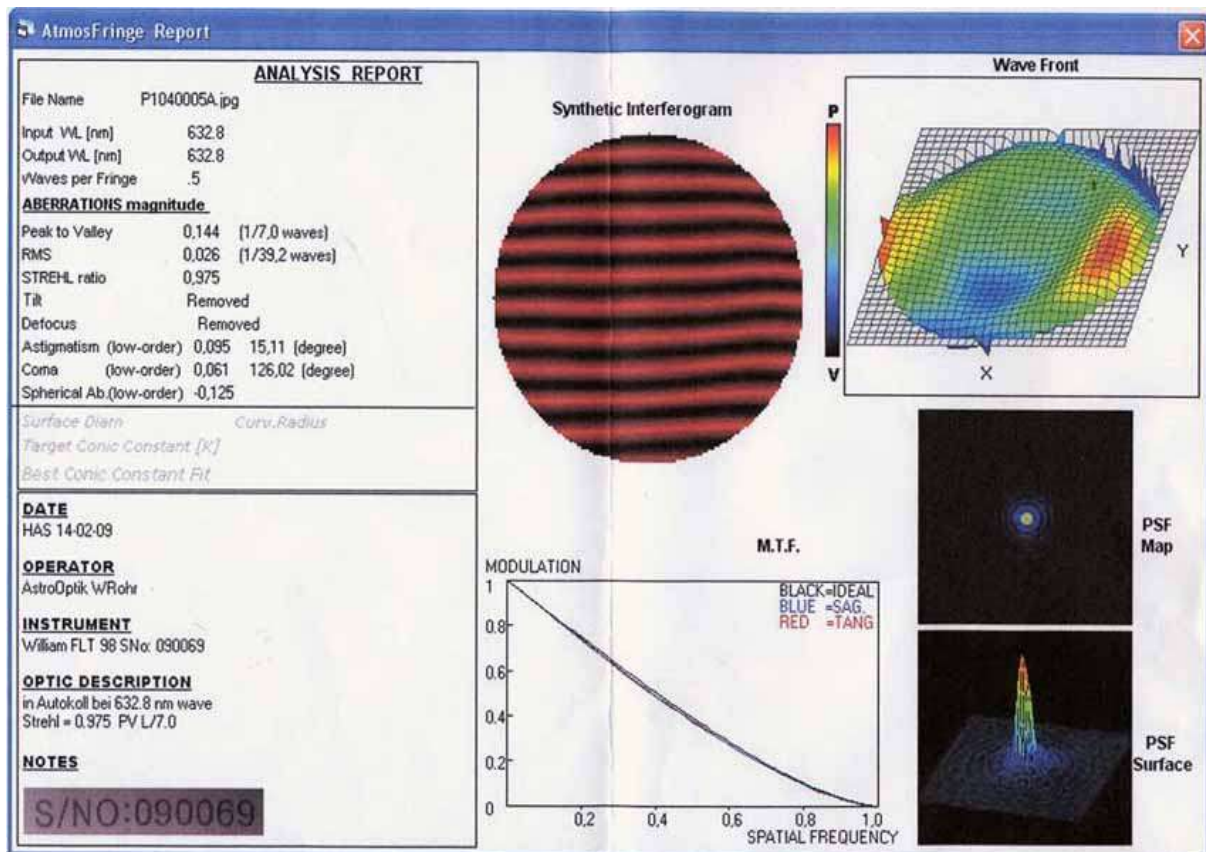


Fig. 6 Les résultats des tests interférométriques réalisés dans le rouge. Ils montrent l'excellente qualité de la réalisation avec un RMS de $\lambda/39$ sur l'onde et un Strehl de 0,975.

Certain argueront que $\lambda/7$ P/V dans le rouge égal $\lambda/6,1$ dans le vert et que c'est pour cela que les mesures sont faites dans le rouge ! Cela est vrai pour un télescope mais pas pour une lunette. En effet, l'aberration de sphéricité étant plus élevée dans le rouge, les performances y seront moins bonnes et donc meilleures dans le vert. Il est probable qu'au final les résultats ne seront pas très différents. C'est là l'illusion du marketing qui croit améliorer les performances sans bourse délier.

Conclusions.

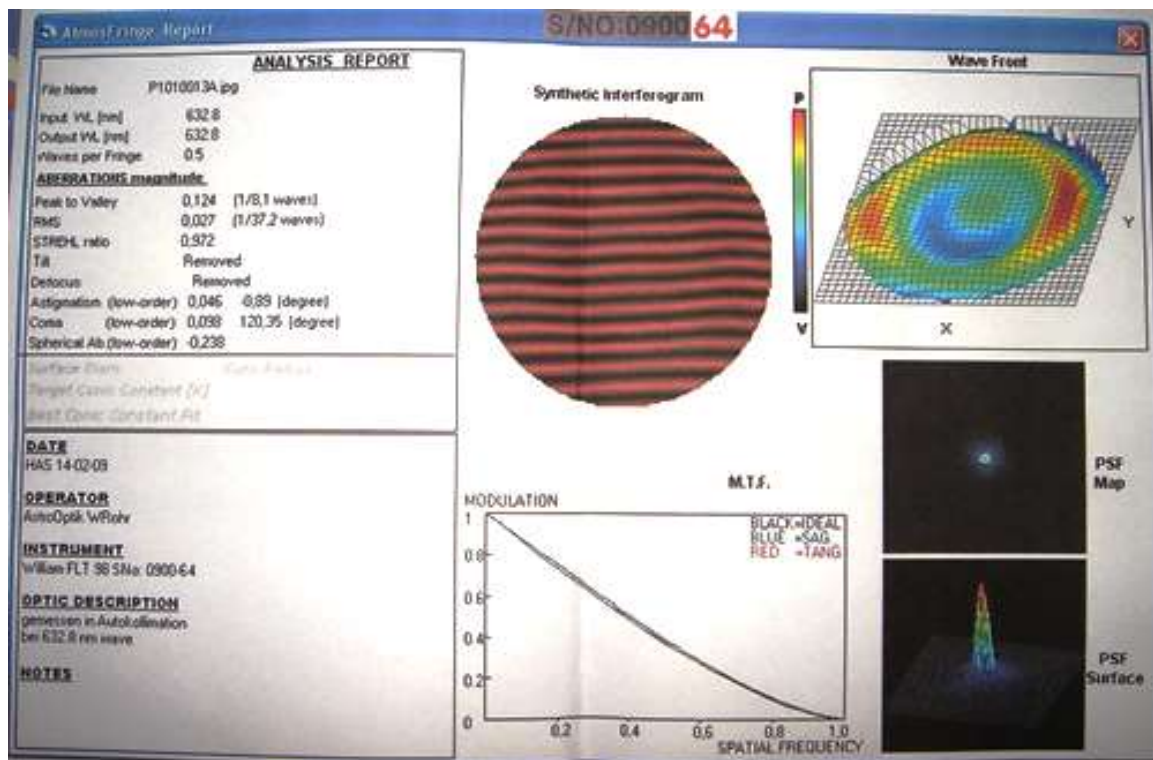
Pour une telle focale et un tel diamètre, on peut dire qu'Andrey Strakhov a tiré la substantifique moelle de cette combinaison. La gamme spectrale est étendue, les aberrations sont bien maîtrisées : un cas d'école.

Certains préféreront encore un peu moins de chromatisme avec une bande moins étendue en particulier dans l'infra rouge, mais on ne peut faire plaisir à tout le monde. Tout au plus se dit-on que d'un point de vu marketing 101mm cela aurait été plus sérieux que 98 mais. A.Strakhov m'a expliqué que le diamètre devait être de 95mm et il a été porté à 98mm parce qu'au Far East, le chiffre 8 porte bonheur ! La preuve en est que l'on peut se passer d'un correcteur pour un CCD d'un demi-pouce !

En visuel, ce n'est pas la qualité des calculs mais bien celle de la production qu'il faudra surveiller et une bonne Barlow x3 ouvrira la voie au planétaire. Si l'on souhaite tirer le maximum d'un CCD de 1 pouce, le nouveau correcteur « Zoom » couvrant les focales 500 à 1000mm fera l'affaire.

Un autre test.

Ici un autre test réalisé sur une lunette FLT-98 appartenant au Dr. Luis M. Gutierrez par W.Rohr dans le rouge. Il montre l'excellente qualité de la réalisation avec un P/V de $\lambda/8.1$ sur l'onde et $\lambda/37$ rms. Le Strehl ratio est de 0,972.



Pour en savoir plus :

- Astreya : <http://astreya-optics.narod.ru/eng/index.htm>
- Dr. Luis M. Gutierrez lmgtz_doc@hotmail.com
- Telescope optics, Rutten & van Venrooij, William Bell editor.
- M.Herzberger, “Color Correction in Optical systems and a new Dispersion Formula.”, Optica Acta, Vol.6, (1959), p.197