

Le Télescope de Wynne-Rosin

Méconnu mais... Remarquable !

Par Charles Rydel
Ver 2.0

Introduction

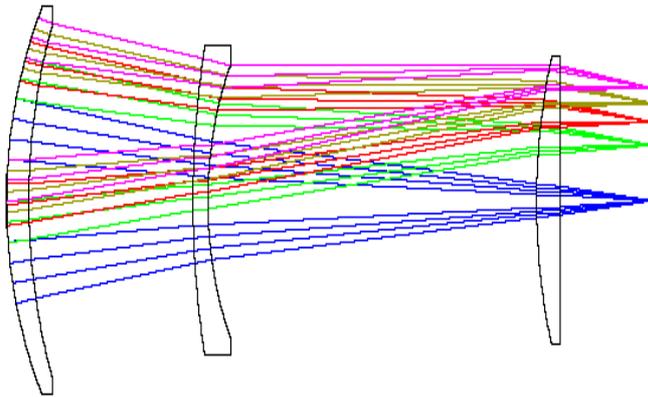
NOUS AVONS VU DANS UN ARTICLE concernant le télescope de Dall-Kirkam que celui-ci était constitué d'un secondaire sphérique et d'un primaire ellipsoïdal. Le principal intérêt de ce télescope réside donc dans le fait que le secondaire est plus facile à réaliser et à tester que celui du Cassegrain qui est hyperbolique. Accessoirement, le primaire assez ouvert (F/D compris entre 2.5 et 4) voit sa génération facilitée par une déformation plus faible, puisque le coefficient de Schwartzchild est compris entre -0.7 et -0.8 seulement au lieu de -1 pour une parabole. De ce fait, le primaire ne peut être utilisé seul à cause d'un résidu d'aberration sphérique. En outre, la coma étant $(\gamma^2+1)/2$ fois plus forte que celle du Cassegrain¹ un grossissement secondaire de quatre fois impliquera une coma 8,5 fois plus forte à une même distance de l'axe, ce qui tend à spécialiser le DK dans l'observation planétaire ou à faible champ. Takahashi l'a bien compris avec la série des Mewlon.

Malgré tout, pour l'amateur qui réalise son télescope par ses propres moyens, il y a un bonus : le secondaire sphérique est moins sensible au décentrement que le secondaire hyperbolique du Cassegrain ; avantage : le DK est plus facile à collimater et à manier. Contrairement à ceux qui se contentent de répéter ce qu'ils ont lu ailleurs, je soutiens que le DK n'est en aucun cas une version dégénérée du Cassegrain, mais bien un télescope avec des caractéristiques très attrayantes pour l'amateur même si son utilisation est moins universelle que le Cassegrain.

Mais est-il possible de concevoir un télescope dont le secondaire serait sphérique afin de faciliter sa réalisation, et dont le primaire serait parabolique afin d'en user en Newton ? En quelque sorte un DK à primaire parabolique ou un Cassegrain à secondaire sphérique ! Il serait possible ainsi de l'utiliser à la fois au foyer primaire avec

¹ Gamma est le grossissement du secondaire, selon la notation du CTA.

une Webcam et au foyer secondaire avec un CCD ou un APN de grande taille. Une autre solution utiliserait un réducteur de champ dans le même rapport que le grandissement secondaire. Un tel télescope modulaire et à triple fonction cernerait idéalement l'activité de l'amateur pour un coût et une difficulté de réalisation des plus raisonnables car réaliser un secondaire sphérique est plus facile à réaliser qu'un plan de Newton.



À la suite de travaux de l'opticien américain Wynne² en 1949 (qui inventa plus tard le correcteur de champ à trois lentilles pour miroir parabolique dont on voit un exemple à gauche), Seymour Rosin³ un autre opticien prolifique a publié en 1964 le schéma d'un télescope qui répond très précisément à cette demande.

Il se trouve que ce télescope est même mieux corrigé que le Ritchey- Chrétien, puisqu'il est dépourvu d'astigmatisme, alors que le RC est seulement corrigé de l'aberration sphérique et de la coma. De ce fait, le choix d'un secondaire de rayon de courbure identique mais opposé à celui du primaire annule la somme de Petzval (ici la courbure de champ). Ces deux caractéristiques présentent un grand avantage pour la photographie à grand champ, car les images sont limitées par la diffraction sur tout le plan focal. Pour la suite, nous appellerons en abrégé ce télescope, le WR (Wynne-Rosine) comme le DK est le Dall-Kirkam, le SC, le Schmidt Cassegrain etc. et cela d'autant que Wynne est revenu dessus plus tard dans un article⁴.

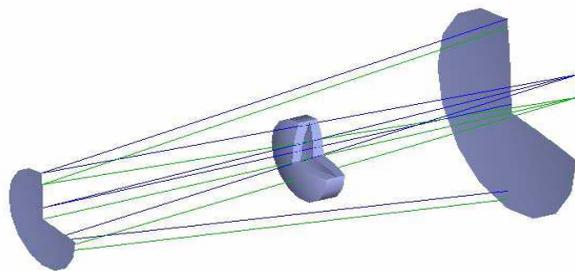
Le secret du W-R

Hormis un primaire parabolique (donc réutilisable au foyer primaire) et un secondaire sphérique, la botte secrète du WR réside en la présence d'un système correcteur, composée de deux ménisques de même verre et de même puissance, situé assez loin en avant du plan focal sur le chemin optique du secondaire. La puissance totale du correcteur étant nul, le chromatisme introduit est négligeable, ce qui le fait cousiner avec le bien connu correcteur de Ross, lequel a pour inconvénient (avec un primaire parabolique ou un pur Cassegrain), d'introduire de l'aberration sphérique. Cet ensemble secondaire sphérique + lentilles en quelque sorte un correcteur de champ pour le primaire parabolique, un peu comme le fait le correcteur de Wynne. Il est clair que ces caractéristiques remarquables et le fait que la longueur du télescope soit inférieure à

² C.G.Wynne, Proc.Phys.Soc.(London) **B62**, 772 (1949)

³ Seymour Rosin, *Corrected Cassegrain System*, Applied Optics, Jan. 1964 / Vol.3, n°1, p.151,152

⁴ CFW Harmer & CG Wynne, *A simple Wide-Field Cassegrain Telescope*, Mon. Not. R. Astro. Soc., 1976, p. 25-30



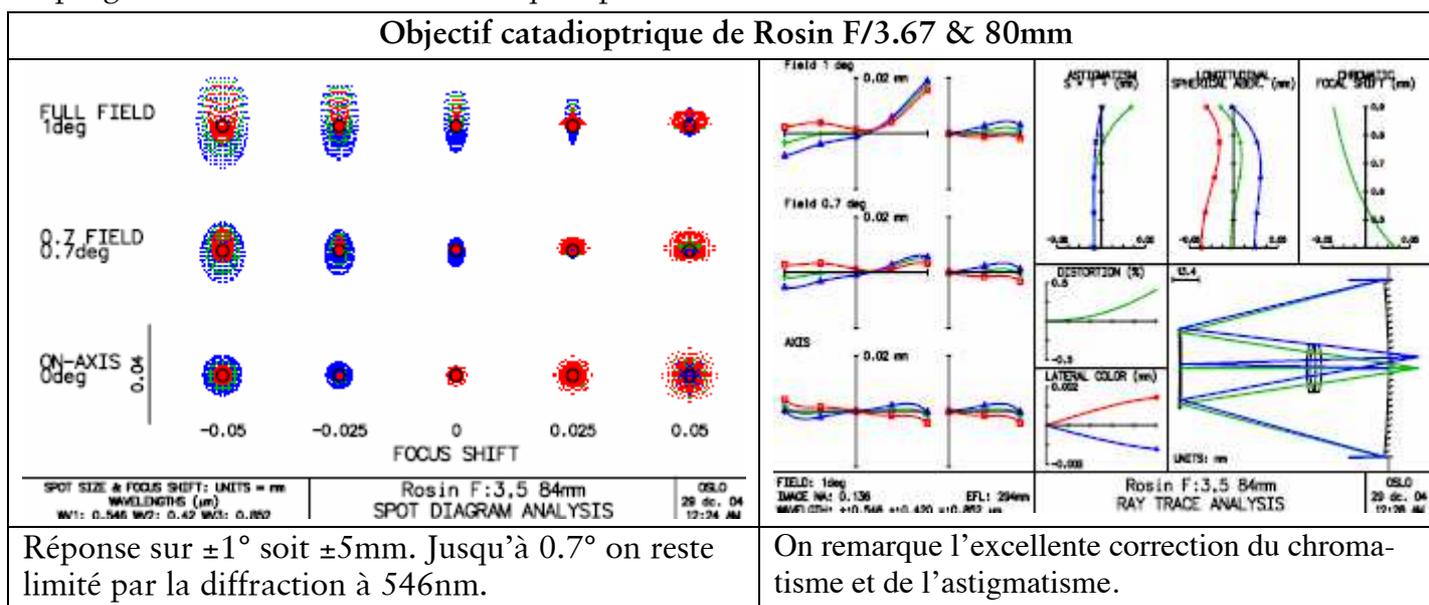
la moitié de sa focale, renvoient le Schmidt avec son champ courbe et la longueur de son tube égal au rayon de courbure... au rayon des antiquités, il est vrai pour les systèmes pas trop ouverts ! Il ne fait pas de doute qu'un jour qui n'est pas si lointain, on trouvera des CCD et/ou des Cmos en 6x6 a des prix abor-dables, et qui pourront profiter de ces performances pleinement, mais dès aujourd'hui, une utilisation avec APN est déjà intéressante.

Le système catadioptrique de S.Rosin

Dans son article de 1964, S.Rosin fait état d'un téléobjectif catadioptrique de diamètre 84mm, ouvert à f/3.67, couvrant un angle de 2.5° et d'une focale proche de 300mm. Il est représenté plus haut. La formule optique -donnée dans l'article- comportait un primaire et un secondaire de rayon de courbure identique en sorte d'obtenir un champ plan. Elle était la suivante.

Surface n°	Rayon	K	Distance	Indice	Diamètre	Remarques
1	-348.8	-1	-104.6	Air	80	Mir. primaire
2	-348,8	0	63,274	Air	33	Mir. Secondaire
3	50,21	0	1,5	1,468	20	Quartz
4	28,64	0	3,0	Air	20	
5	-141,66	0	3	1,468	20	Quartz
6	45,33	0		air	20	

Quelles sont donc les performances d'un tel système ? Pour les évaluer, nous utiliserons le programme de simulation OSLO qui a produit les résultats suivants.



On le voit plus haut, ce système optique répond bien à nos espérances et donne des résultats bien meilleurs que le télescope de RC équivalent, dont le secondaire serait très déformé, voire irréalisable et où la tache, liée à la courbure de champ fera presque 0.1mm à 1°, au lieu de 20µ avec le WR. N'oublions pas aussi que ce WR est très ouvert et que nous sommes a priori plutôt intéressés par des systèmes ouverts vers F/5-8 car le primaire sera lui ouvert à F/4 voire F/3 et parabolisé, ce qui n'est malgré tout pas complètement trivial, même pour celui qui a déjà quelques bons miroirs à son actif. C'est là le prix à payer par rapport à notre favori, le télescope de Houghton, lequel a un primaire sphérique et un correcteur composé de deux lentilles sphériques mais de pleine ouverture et qui demande pas mal de travail d'ébauchage et de polissage lui aussi, mais sans l'inconvénient de la déformation des surfaces.

Deux télescopes ouverts à F/6 & F/10

Quel serait le schéma d'un télescope photographique de 250mm ouvert à F/6 par exemple ? On utilise des lentilles en verre Schott B270, verre blanc qui a l'avantage d'être bon marché et facilement disponible tout en ayant des caractéristiques optiques bien spécifiées, proche du verre K5 de Schott. On souhaite couvrir un champ de 3°, soit un diamètre de 70mm au plan focal. A priori, l'obstruction centrale sera de 50%, ce qui n'est pas forcément gênant dans le cadre d'une telle utilisation, un vrai Schmidt ne ferait pas mieux.

En revanche, si l'on admet une ouverture de F/10, alors on obtient l'habituel compromis entraînant une obstruction centrale de l'ordre de 30 % que l'on trouve sur les Schmidt Cassegrain du commerce et qui permet d'avoir un instrument à la fois visuel et photographique qui satisfera le plus grand nombre tout en étant de réalisation quand même plus facile ; en particulier le primaire qui serait alors ouvert à F/3,25 avec un grossissement de x3 pour le secondaire, relaxant un peu la correction de la courbure de champ qui devient moins critique, puisque le champ couvert est plus faible. Un jour sans doute, nous examinerons aussi la possibilité en plus du correcteur, d'utiliser une lentille relais permettant de diminuer l'obstruction centrale un peu à la manière du fameux Clavius⁵. Mais examinons d'abord ces deux versions dans leurs simplicités natives. L'astrographe ouvert à F/6 dispose d'un miroir primaire parabolique de 250 mm ouvert à F/3.25 (pas totalement trivial !). Le secondaire, sphérique, a évidemment le même rayon de courbure que le primaire afin d'annuler la courbure de champ

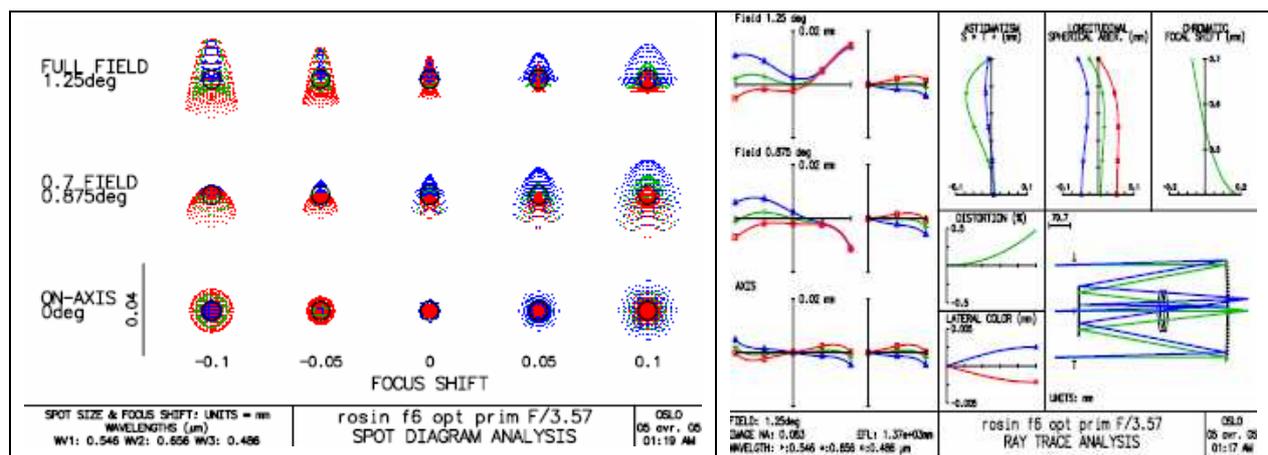
L'utilisation des deux lentilles pour le correcteur ne pose pas de problèmes particuliers, hormis la nécessité d'un centrage soigneux, mais en limitant l'astigmatisme, aberration

⁵ En fait le principe semble avoir été proposé pour la première fois par Dall dans un article du Maksutov Bulletin concernant un télescope éponyme. Ici, on aurait alors un WRD... Quant au Clavius, son relais est bien plus complexe comme le révèle le brevet et se rapproche du télescope de Buchroeder déjà breveté en 1970 (US 3,529,888).

résiduelle du Ritchey-Chrétien, et la difficulté d'une forte asphérisation pour le secondaire, toujours délicate à réaliser, à mesurer et surtout, peut convaincante en terme d'état de surfaces.

Gen	Setup	Wavelengths	Variables	Draw Off	Group	Notes
Lens: rosin f5.3 opt						Efl 1.3236e+
Ent beam radius		125.000000	Field angle	1.300000	Primary wavln	0.5460;
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPECIAL	
OBJ	0.000000	4.5000e+20	1.0212e+19	AIR		
AST	0.000000	0.000000	150.000000	AIR		
2	-1.5696e+03	-470.700000	125.000000	REFL_HATCH	A	
3	-1.5696e+03	250.000000	60.710347	REFL_HATCH		
4	183.749661	8.161900	45.904011	B270	C	
5	130.977858	13.000000	44.885020	AIR		
6	-310.243928	10.000000	44.749070	B270	P	
7	-190.571446	0.000000	45.177119	AIR		
IMS	0.000000	255.730319	30.038180			

Les caractéristiques du système sont très honorables en photographie avec 90% de l'énergie dans 10 μ et se comparent, sans aucune difficultés, aux astrographes Schmidt Cassegrain du commerce. Ci-dessous, voir les résultats en termes de spot diagramme pour un champ de $\pm 1.25^\circ$. Pour du 24/36 on sera « diffraction limited » comme disent les gringos mais le 6x6 sera accessible. Accessoirement des pixels de CCD de 5 μ feront l'affaire en particulier si on décale la mise au point de 50 μ pour éviter le sous échantillonnage au centre.

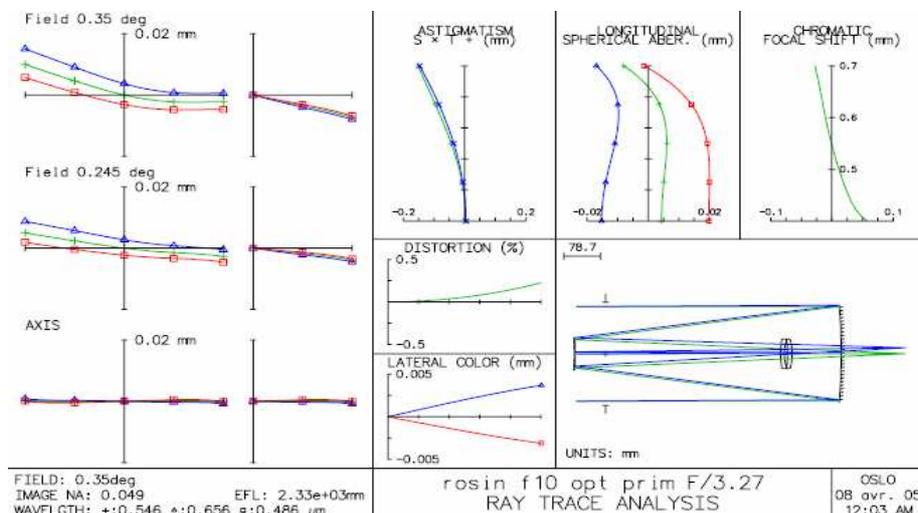


On voit que l'image est homogène et reste proche, dans son étendue, du premier anneau de diffraction. L'astigmatisme est bien corrigé, le champ est plan sur un diamètre de 60 mm. La distorsion, atteint $\pm 1/2$ % au bord du champ soit 22 sec d'arc. En réutilisant le primaire et en changeant le rayon de courbure du secondaire, sa position ainsi que le correcteur, on peut obtenir un télescope visuel, ouvert à F/D=10,

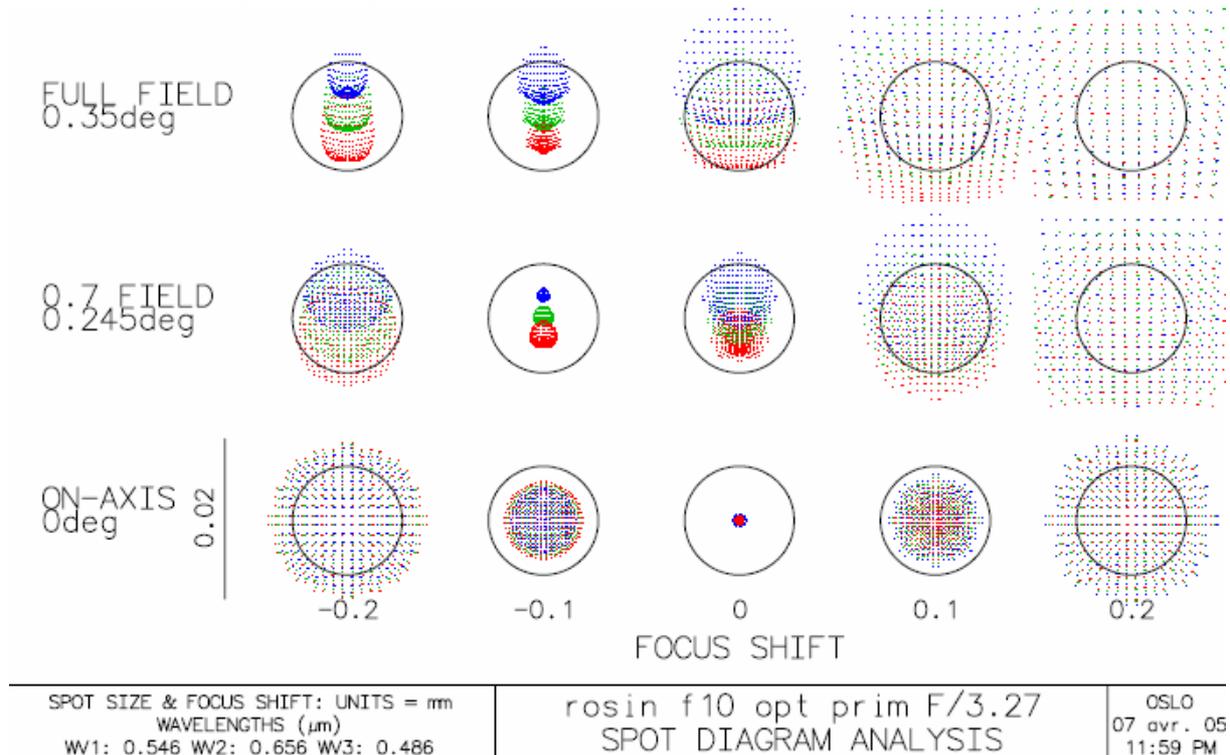
12 voire 16. On peut imaginer ainsi avoir un jeu de plusieurs secondaires et correcteurs pour répondre à diverses utilisations ou divers type de capteurs CCD en plus de l'utilisation du primaire parabolique. On obtiendra de la sorte un système de télescopes modulaires et relativement économiques, une fois que le miroir sera réalisé. Il est aussi possible pour l'imprudent qui a réalisé le bel ouvrage d'un parabolique très ouvert, espérant « Plus de luminosité », de recycler ce miroir inutilisable (tant le champ de netteté est restreint) dans un Newton... Le RC reste la référence quand on souhaite un grand champ et une bonne ouverture, accompagné d'une absence totale de chromatisme. Le prix à payer est un secondaire bien plus déformé et un degré de correction inférieur puisque le RC n'est pas un anastigmat comme le WR et qu'il nécessite un aplanisseur de champ qui réintroduit du chromatisme voire des plaques asphériques pour finir de le corriger... Examinons donc un RC avec les mêmes caractéristiques que le nôtre, c'est-à-dire ouvert à $F/D=6$ et un primaire ouvert à 3,57. Le simple calcul des coefficients de déformation montre déjà qu'ils sont hors d'atteinte : -1.68 pour le primaire et ce qui est bien plus grave, -46.4 pour le secondaire ! En fait le primaire devrait être ouvert à $F/D=2$ pour que le coefficient de déformation du secondaire devienne acceptable : -5.15. Mais alors c'est notre primaire ouvert à $F/2$ qui cesse de l'être ! On le voit, le RC très ouvert nous enferme dans une apparente *aporie*, dont nous sortons habilement le Wynne-Rosin avec son secondaire sphérique et son primaire parabolique, moyennement ouvert en contrepartie d'un doublet correcteur, qui seraient aussi nécessaires pour le RC, cela afin de supprimer l'astigmatisme.

Un WR généraliste à F/10

Nous reprenons ici le même primaire parabolique de 250 mm ouvert à 3.25 et examinerons ce que donne le WR avec un grossissement plus fort aboutissant au F/D de 10 tel que pratiqué par Mead et Celestron. Il est certain que la courbure de champ sera au rendez-vous, mais pas forcément rédhibitoire ou incurable; quant au chromatisme et à l'astigmatisme, ils brilleront par leurs absences.

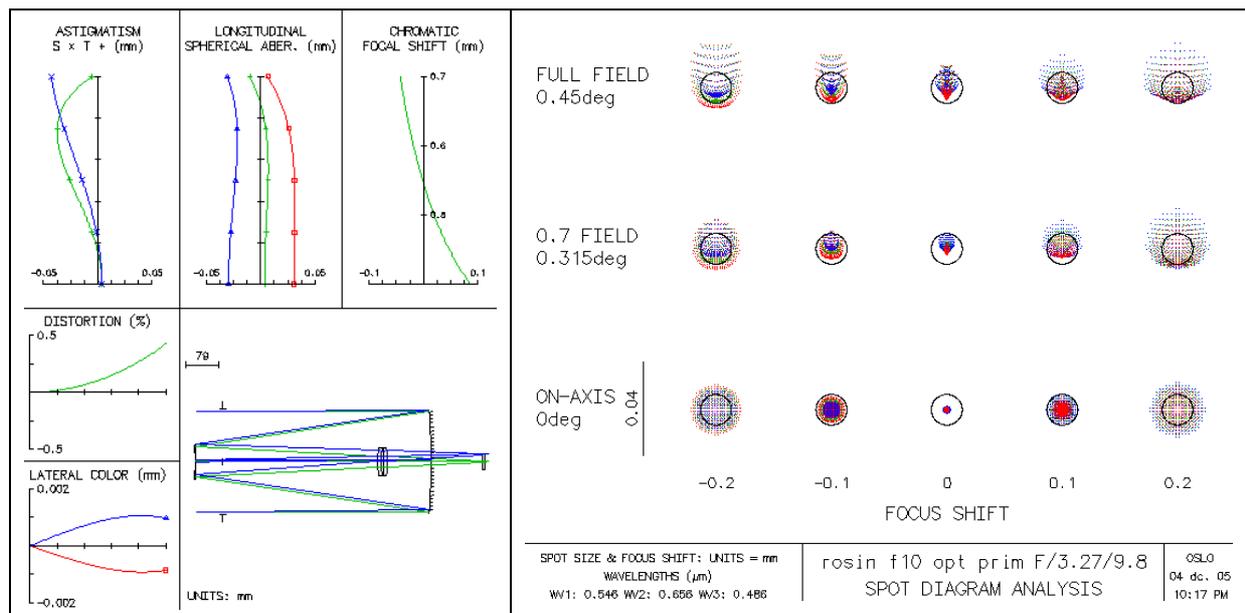


C'est bien ce que nous permet de voir l'ensemble des courbes de la page précédente. La focale sagittale et tangentielle est bien confondue et il ne reste sur le bord qu'un delta de mise au point de 0.2 mm environ dû à la courbure de champ, laquelle est corrigéable par une lentille plan-concave si on souhaite réaliser des photographies, l'oeil lui s'adaptant automatiquement. Le sphérochromatisme est indécélable, le chromatisme est de 50µ à 400 nm. Tout cela est bien synthétisé par les spots diagrammes suivant qui montre aussi que sur $\pm 0.25^\circ$ on est limité par la diffraction. En se décalant de 50µ vers l'intérieur, le champ limité par la diffraction passe alors à $\pm 0.35^\circ$ avec un peu de chromatisme de position qui reste dans la tache. L'obstruction centrale est de 34%.



Regardons maintenant ce qui se passe si on rajoute une lentille plan-concave à 10 mm du capteur et de -300mm de rayon de courbure, les autres composants restant identique, avec les données suivantes.

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPECIAL
OBJ	0.000000	4.6649e+20	3.6639e+18	AIR	
AST	0.000000	504.798000	128.000000	A	
2	-1.6271e+03	-570.000000	125.964756	S	REFL_HATCH A
3	-750.000000	440.000000	42.186993	SK	REFL_HATCH
4	205.680782	8.000000	35.000000	K5	C
5	114.924439	7.000000	35.000000	AIR	
6	-284.739225	10.000000	35.000000	K5	P
7	-138.213705	229.500000	35.000000	AIR	
8	-300.000000	5.000000	18.736923	K5	P
9	0.000000	0.000000	18.725844	AIR	
IMS	0.000000	9.998143	18.692069	S	



Premières conclusions, la courbure de champ est devenue insignifiante. En outre, à 18 mm du centre l'astigmatisme et l'aberration sphérique sont parfaitement compensés, seul demeure un peu de chromatisme de position mais faiblissime et des aberrations du 5ème ordre. En fait, on est à $\lambda/4$ au bord du champ et il n'est pas impossible qu'une optimisation plus poussée permette d'augmenter encore cette performance ou du moins, permette d'avoir un champ photographique plus large encore. Il n'est pas impossible aussi qu'une autre position du correcteur permette d'éviter l'utilisation de la 3ème lentille. On dispose ici d'une très belle performance, probablement meilleure que celle des Schmidt-Cassegrain du commerce, tout en gardant la possibilité d'utiliser le primaire selon une autre combinaison optique. Dans tous les cas, on devra soigner l'alignement des différents dioptrés.

Réalisation, quelques conseils

L'ordre de réalisation des composants de cette formule optique sera le suivant :

1) On commence par la réalisation du secondaire qui est en Pyrex tout comme l'outil. On choisira une épaisseur de 12 à 15 mm tant pour l'outil que pour le secondaire qui sera repéré par un trait au feutre sur le bord. Afin d'éviter un bord rabattu, toujours délicat à reprendre, on partira d'un diamètre plus grand, dans lequel sera préalablement découpée la partie optique utile, ici le secondaire. Celui-ci est alors collé dans la découpe annulaire avec du Staturoc⁶. Il en sera ôté à la fin, le bord rabattu demeurant sur la partie annulaire. Deux ou trois centimètres supplémentaires sur le diamètre conviennent parfaitement.

⁶ Vendu par Rougié et Plé. Voir mon article sur les outils céramiques.

Au cours du doucissage, on s'efforcera d'approcher au mieux du rayon de courbure du primaire et du secondaire. On acceptera éventuellement, une différence de l'ordre de $\pm 2\%$ par exemple par rapport à la combinaison optique initiale, la perfection n'étant pas de ce monde. Un détail qui a son importance : le dos du secondaire sera finement dépoli au 220 alors que le dos de l'outil sera gardé transparent afin de pouvoir au travers, observer des franges d'interférence. En outre, un petit tour d'opticien, réalisé avec un moteur très démultiplié rendra de grands services. On pourra tenter le moteur d'essuie-glace, il démarre sous des tensions de l'ordre de 2 volts et fait environ 5 tours/minute avec un très fort couple. En travaillant à « poste fixe », avec moins de fatigue, on maîtrisera mieux son travail.

2) Une fois atteint cet objectif de $\pm 2\%$ et le doucissage terminé au W8, on procédera au polissage de l'outil (qui devient alors le calibre de référence) en s'efforçant d'être à mieux que $\lambda/15$ sur l'onde au Foucault, voire à l'interféromètre de Bath, sachant que le secondaire ne sera pas meilleur que le primaire, à moins d'une intervention de la divine providence... Mais si, comme le soutenait A. Einstein, « Dieu ne joue pas aux dés », il n'y a pas plus de raisons qu'Il s'intéresse aux combinaisons optiques ! Donc meilleur sera le calibre, meilleur sera le secondaire. Pour supporter la poix, on utilisera par exemple un outil en Staturoc6, un plâtre spécifique qui prend très vite et qui est étanche, mais d'autres supports peuvent être envisagés, comme une rondelle de verre de même diamètre et de 10mm d'épaisseur. Tout support rigide devrait faire l'affaire.

3) On procédera alors au polissage du secondaire en s'efforçant de rattraper le rayon de courbure du calibre, auquel on ne touchera plus. Le secondaire sera testé aux franges sur un Fizeau, équipé d'une lampe spectrale générant une raie très fine et aussi d'un filtre coloré telle une feuille de plastique, atténuant les autres raies. Une lampe « économique » pourrait bien faire l'affaire, la raie violette est bien éloignée des autres⁷. Il y a sur le net, diverses descriptions d'un tel appareil. On s'efforcera d'être au moins à $\lambda/12$ sur la surface soit $\lambda/6$ sur l'onde, en particulier pour le télescope à F/10 qui est le plus critique compte tenu de sa vocation généraliste. Cela dit, le centre du secondaire (10% du diamètre) ne sert pas car il reflète l'image de sa propre obstruction. Inutile donc de s'exciter sur un défaut tel qu'une rayure à cet endroit, ici plus qu'ailleurs, le mieux sera l'ennemi du bien. En outre, les bords ne servent que pour les objets en dehors du champ, donc seulement 70 à 80% du diamètre secondaire servira dans le cas du planétaire. On se trouve là dans des conditions qui facilitent un excellent résultat bien que le secondaire convexe ne soit pas un étalon primaire.

4) Enfin on s'attaquera aux lentilles du correcteur, mais auparavant, on aura simulé de nouveau le système en tenant compte des rayons de courbures exactes du primaire et

⁷ <http://ioannis.virtualcomposer2000.com/spectroscope/amici.html#colorphotos> Le site de référence sur les spectres de lampes.

du secondaire car des tolérances de fabrication et donc de légères disparités par rapport au modèle initial sont inévitables. De nouveaux rayons courbure pour les lentilles seront alors générés par optimisation. Après le doucissage des surfaces des lentilles, réalisé avec des palets de verre ou autres, on mesurera au sphéromètre, les rayons exacts que l'on réinjectera encore une fois dans la simulation. On choisira une surface dont le rayon de courbure réajusté rattrapera enfin ce qu'il reste d'imprécision dans la réalisation de la combinaison optique. Eventuellement, on fera bouger un peu la position du correcteur. On le voit, le caractère itératif du processus de création, associé à la puissance de la simulation optique, permet d'éviter l'énorme perte de temps engendrée par la génération de surfaces aux rayons de courbure ultra précis, les erreurs du second ordre étant, avec un peu de méthode, facilement balancées. Ce temps perdu, d'ailleurs, sera bien mieux utilisé dans l'apprentissage d'un logiciel de simulation.

En guise de conclusion

Un exemplaire de 1m à la Palma et de 3,5m⁸ à Kitt Peak utilisant cette combinaison optique, ont été réalisés. Plus facile à réaliser qu'un Ritchey-Chrétien, cette combinaison est attrayante par le champ qu'elle peut couvrir avec une excellente définition ainsi que par sa capacité à réutiliser un miroir parabolique, tout en éliminant toute trace de coma puisque la combinaison est aplanétique et anastigmatique.

Attrayante, elle l'est aussi par le fait qu'hormis le miroir, toutes les surfaces sont sphériques en particulier le secondaire, ce qui rapproche cette formule du DK et fonctionnera très bien en liaison avec un primaire parabolique un peu ouvert.

Les performances seront au rendez-vous si la coaxialité des composants est bien respectée. Une étude de sensibilité au décentrage et au tilt reste donc nécessaire. En tout état de cause, cette combinaison est de qualité ajoutée à la facilité de réalisation, accessible à un amateur un peu expérimenté et surtout motivé, vaut plus que le détour. □



⁸ CFW. Harmer, CF. Claver & G.H.Jacoby, *The optical Design of the WIYN One Degree Imager (ODI)*.