

Le Correcteur de Franck E. Ross

et ses variantes...

V 2.0

Par Charles Rydel,
Président de la Commission des Instruments de la SAF



Franck E. Ross

Le correcteur de Ross...

C'EST AU COURS DES ANNEES 30 que c'est posé concrètement le problème d'augmenter le champ des télescopes paraboliques réalisés par Ritchey, en particulier les 60 et 100 pouces du mont Wilson (1933) ainsi que celui du 200_pouces du mont Palomar ouvert à F/3,3 (1935). En suivant les premiers travaux de Samson¹, Franck E. Ross² mis au point un correcteur afocal formé de deux lentilles du même verre, dont le chromatisme était quasiment nul. Le dispositif corrigeait l'aberration de coma, la courbure de champ et l'astigmatisme, au prix il est vrai, de l'introduction d'aberration sphérique. Il remarqua alors que cette aberration pouvait être corrigée au prix d'un ménisque supplémentaire, voire par une déformation plus forte du miroir

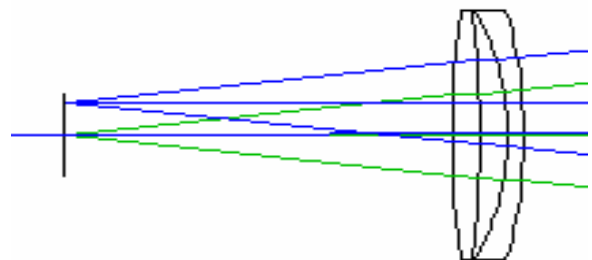
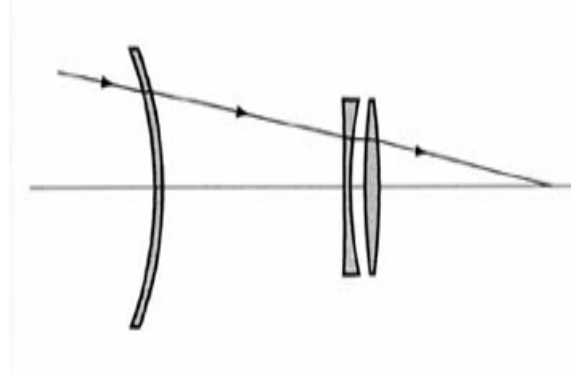


Fig.1 Le correcteur Ross type I du mont Palomar.

¹ Samson, 1913, *MNRAS*, 73, 524

² Franck E. Ross, *Astrophysical Journal*, mars 1935, p.156-172

primaire formule souvent utilisée par les amateurs^{3,4,5,6} en tant qu'astrographe. Un champ de l'ordre du degré carré, voire plus, fut alors envisageable. Il faut savoir qu'un autre avantage de cette configuration réside dans le fait qu'en remplaçant le secondaire plan par un miroir hyperbolique, comme le montra Maurice Paul, et moyennant le pré perçage du primaire, on peut alors disposer simultanément d'une formule de type Newton et d'une configuration type Ritchey-Chrétien⁷. Avec un primaire ouvert à 3,8 et un secondaire de grossissement 3,15 on aura un ensemble ouvert à F/12 très utilisable en ciel profond. L'ajout d'un réducteur de focale classique x0,63 permettra avec une ouverture de F/7,6 de faire du ciel profond sur de grands objets cela sans trop d'obstruction centrale. Mais nous sortons ici de l'épure... Commençons donc par voir ce que donne un correcteur classique du commerce, en particulier celui qui est diffusé par l'allemand Baader...



Le correcteur Baader qui est traité multicouche, à des qualités que peu d'amateurs soupçonnent vraiment. Le voilà à l'œuvre dans une combinaison de 294 mm de diamètre, ouverte à... F/2,8! Le champ est de 1° et les résultats sont remarquables.

Le correcteur Baader

Le correcteur Baader qui est traité multicouche, à des qualités que peu d'amateurs soupçonnent vraiment. Le voilà à l'œuvre dans une combinaison de 294 mm de diamètre, ouverte à... F/2,8! Le champ est de 1° et les résultats sont remarquables.

Gen	Setup	Wavelength	Variables	Draw Off	Group	Notes
Lens: Baader 294mm; F/2.8						Ef1 -821.031561
Ent beam radius		147.000000	Field angle		0.500000	Primary wavln 0.587000
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPECIAL	
OBJ	0.000000	1.7000e+12	1.4836e+10	AIR		
AST	150.000000	1.0000e+03	147.000000	AS		
2	-1.6380e+03	-751.523300	155.726868	S	REFL_HATCH	A
3	-114.000000	-2.000000	20.000000		N-BK7	C
4	-53.870000	-3.500000	20.000000		AIR	
5	-200.100000	-3.500000	20.000000		N-BK7	C
6	200.100000	0.000000	20.000000		AIR	
IMS	0.000000	-61.600005	7.166686	S		

Examinons la forme et la dimension de la tache au plan focal, ainsi que le niveau des diverses aberrations de cette combinaison étonnante de diamètre 294mm... L'aberration sphérique est très bien corrigée dans cette combinaison optique pour laquelle, $k = -1.3055$. Ce qui frappe le plus, c'est que la tache est bien ronde et elle fait dans les 15 μ dans le bleu à 480nm au bord du champ de 1/2°.

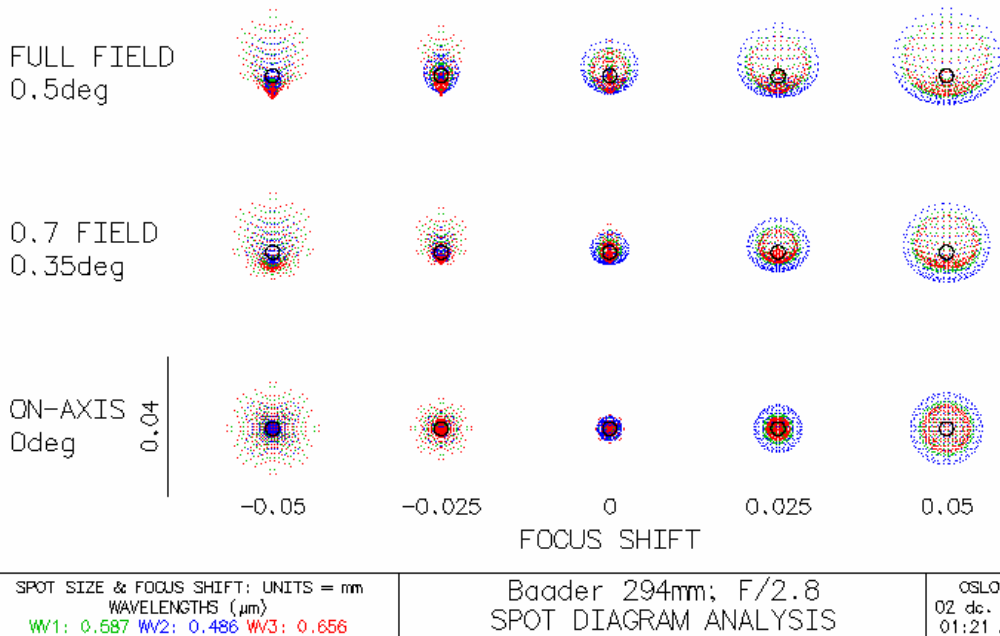
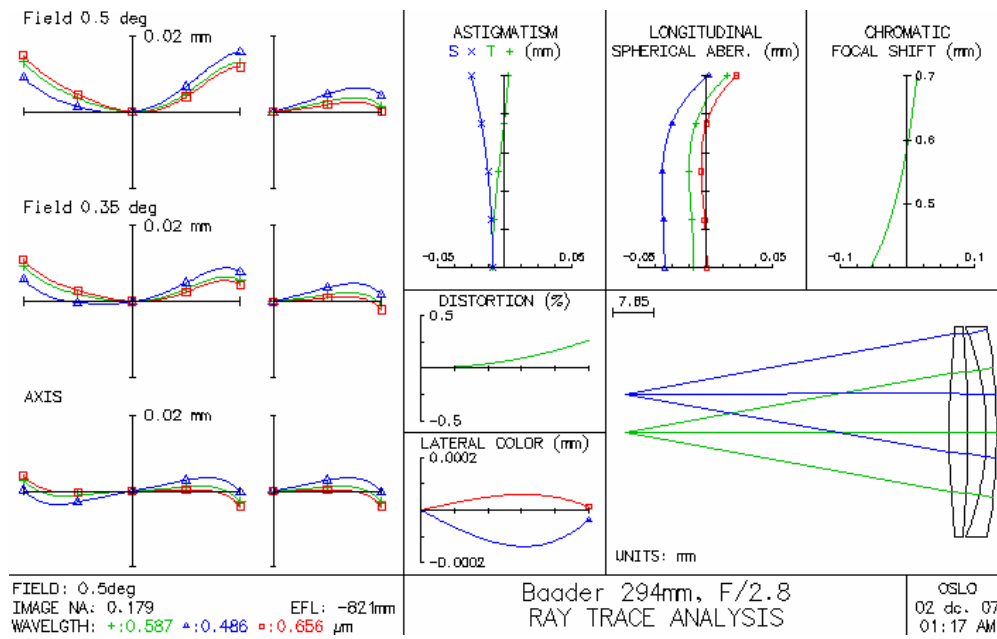
³ A.di Baja, *S&T*, mai 1999, p.120, « A Simplified Hyperbolic Astrograph »

⁴ John L. Richter, *S&T*, mai 1985, p.456, « Rx for the Newtonian Telescope »

⁵ Guillaume Blanchard, *l'Astronomie*, Février 2003, p.78-81

⁶ M.Paul, *l'Astronomie*, 84^{ème} séance du 29 Janvier 1955, p.205-206

⁷ Maurice Paul, *Revue d'optique*, Vol. 14, n°5, mai 1935, p.169-202



L'astigmatisme est faiblissime, en fait inexistant et le champ est plan. On peut prendre comme distance arrière -61.6mm et avec un champ de $\pm 0.5^\circ$, on couvrira un diamètre au foyer de 14,3mm. Cela dit, pour $\pm 0.7^\circ$, la tache augmente très vite et approche les 40μ . Le diamètre au foyer atteint 20mm, ce qui reste acceptable mais au prix de la disparition des étoiles les plus faibles au bord du champ. Il faudra descendre à 200mm de diamètre si l'on veut couvrir un champ égal à $\pm 0.7^\circ$ avec les performances du précédent astrographe. L'ouverture sera alors de F/4,1. De cela il est déjà permis de conclure qu'un rayon de courbure de 1638 mm est acceptable *pour ce correcteur*. Cela ne signifie évidemment pas qu'une autre focale plus longue est inutilisable, ce que nous allons voir plus loin. Il sera toujours possible de trouver un coefficient k et une distance au foyer annulant l'aberration sphérique et le fait d'allonger la focale devrait bien arranger les choses pour l'amateur. Reste alors à savoir ce qui est acceptable ou pas,



Fig.3 Le correcteur Ross, Baader.

en particulier, il devrait être possible de couvrir un champ plus grand pour du 16x22 voire du 24x36 au prix d'une tache assez importante. Tout est alors question de compromis et la simulation sera une aide précieuse. Notons surtout ici qu'une mise au point de $\pm 50\mu$, voire $\pm 25\mu$ sera nécessaire pour extraire la substantifique moelle de cette combinaison très ouverte qui est surtout limitée par les dilatations dues aux variations de température et les tolérances mécaniques. Le **Takahashi Epsilon 180**, que nous

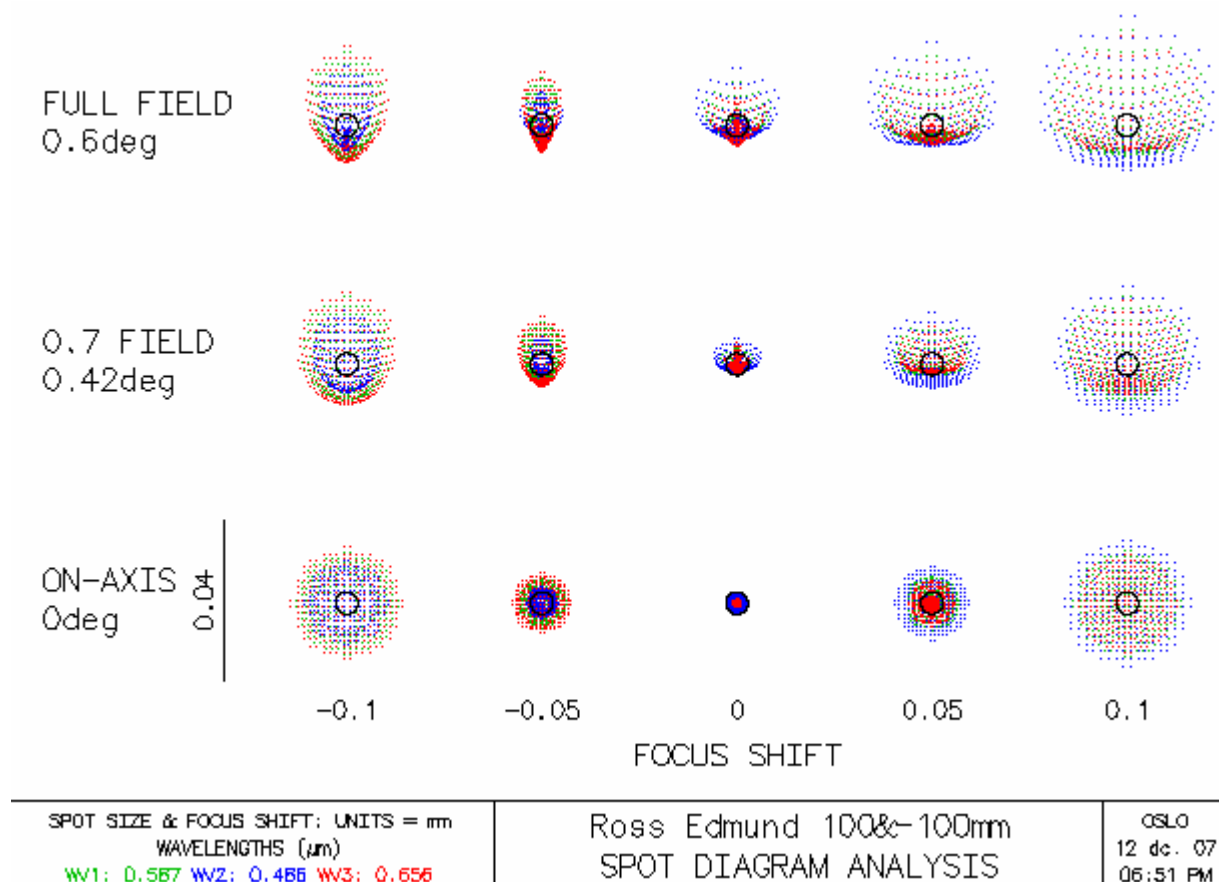
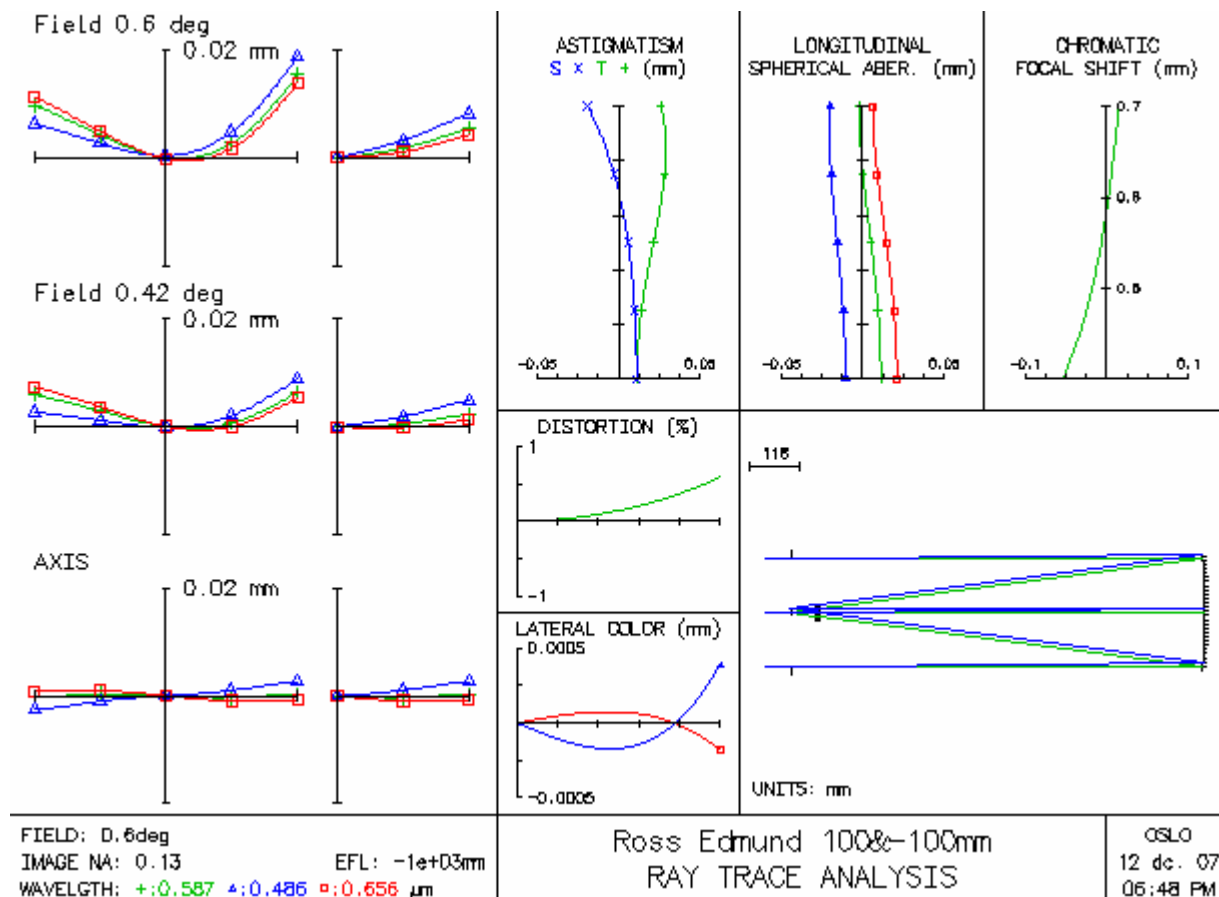
analyserons sans doutes, est une combinaison de ce genre avec probablement un ou deux verres en FPL53, le verre ED à tout faire que l'on retrouve sur tous les apo « low cost », à moins qu'il ne s'agisse de verres au lanthane à fort indice, diminuant les courbures mais introduisant du chromatisme... Voyons maintenant à titre d'exemple ce qu'il en serait pour un 260 mm avec un rayon de courbure de 2000 mm. On trouve alors ceci pour les caractéristiques.

Gen	Setup	Wavelength	Variables	Draw Off	Group	Notes
Lens: Ross Edmund 100&-100mm						Ef1 -1.0024e+03
Ent beam radius	130.000000	Field angle	0.600000	Primary wavln	0.587000	
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPECIAL	
OBJ	0.000000	1.7000e+12	1.7803e+10	AIR		
AST	150.000000	1.0000e+03	130.000000	AS		
2	-2.0000e+03	-932.145000	140.472358	S	REFL_HATCH	A
3	-114.000000	-2.000000	20.000000		N-BK7	C
4	-53.870000	-3.500000	20.000000		AIR	
5	-200.100000	-3.500000	20.000000		N-BK7	C
6	200.100000	0.000000	20.000000		AIR	
IMS	0.000000	-62.000474	10.498829	S		

On a trouvé par approximation manuelle, un nouvel optimum avec $k=-1,26$. On remarque aussi que la distance au foyer n'a pas beaucoup bougé. Examinons maintenant la forme est la dimension de la tache au plan focal, ainsi que le niveau des diverses aberrations de cette combinaison qui est moins ouverte.

On verra qu'un tel astrographe et tout à fait utilisable non seulement en photographie *mais aussi en visuel* avec une excellentissime définition sur un champ de $1,2^\circ$. C'est dans le bleu que la tache est la plus grande, sans dépasser au centre, celle d'une lunette apochromatique. Elle est en revanche identique en termes de dimensions, dans le rouge et le vert.

On ne tiendra pas compte de l'inscription « Ross Edmund 100&-100 mm », souvenir oublié d'une autre simulation.

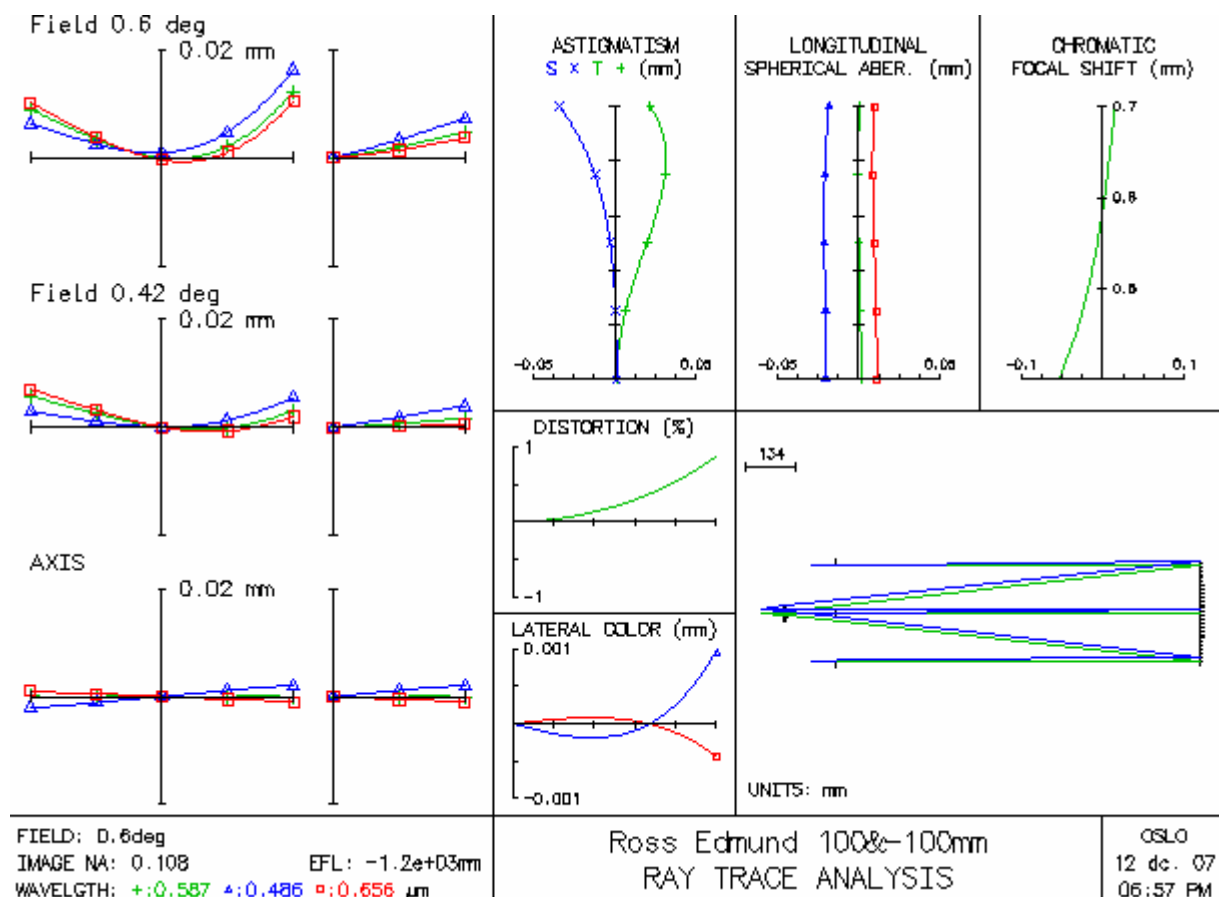


Là encore, le résultat est très bon même si le champ couvert n'est pas celui d'un APN mais celui d'une bonne caméra CCD. L'astigmatisme est inexistant et l'effet de la courbure de champ est quasi nul. On voit bien qu'en se décalant de $-25/50\mu$, les étoiles

seront piquées sur tout le champ diamétral qui est de 20,4 mm. Cette combinaison pourra même monter à 300 mm de diamètre. Voyons enfin si l'on peut monter à 2400 mm de rayon de courbure et quelles seront les performances.

Gen	Setup	Wavelength	Variables	Draw Off	Group	Notes
Lens: Ross Edmund 100&-100mm						Efl -1.2029e+03
Ent beam radius	130.000000	Field angle	0.600000	Primary wavln	0.587000	
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPECIAL	
OBJ	0.000000	1.7000e+12	1.7803e+10	AIR		
AST	150.000000	1.0000e+03	130.000000	AS		
2	-2.4000e+03	-1.1321e+03	140.472358	S	REFL_HATCH	A
3	-114.000000	-2.000000	20.000000		N-BK7	C
4	-53.870000	-3.500000	20.000000		AIR	
5	-200.100000	-3.500000	20.000000		N-BK7	C
6	200.100000	0.000000	20.000000		AIR	
IMS	0.000000	-61.990657	12.597029	S		

On a trouvé par approximation manuelle, un nouvel optimum avec $k=-1,25$ en gardant une distance au foyer de 62 mm. Examinons maintenant le niveau des diverses aberrations de cette combinaison moins ouverte.



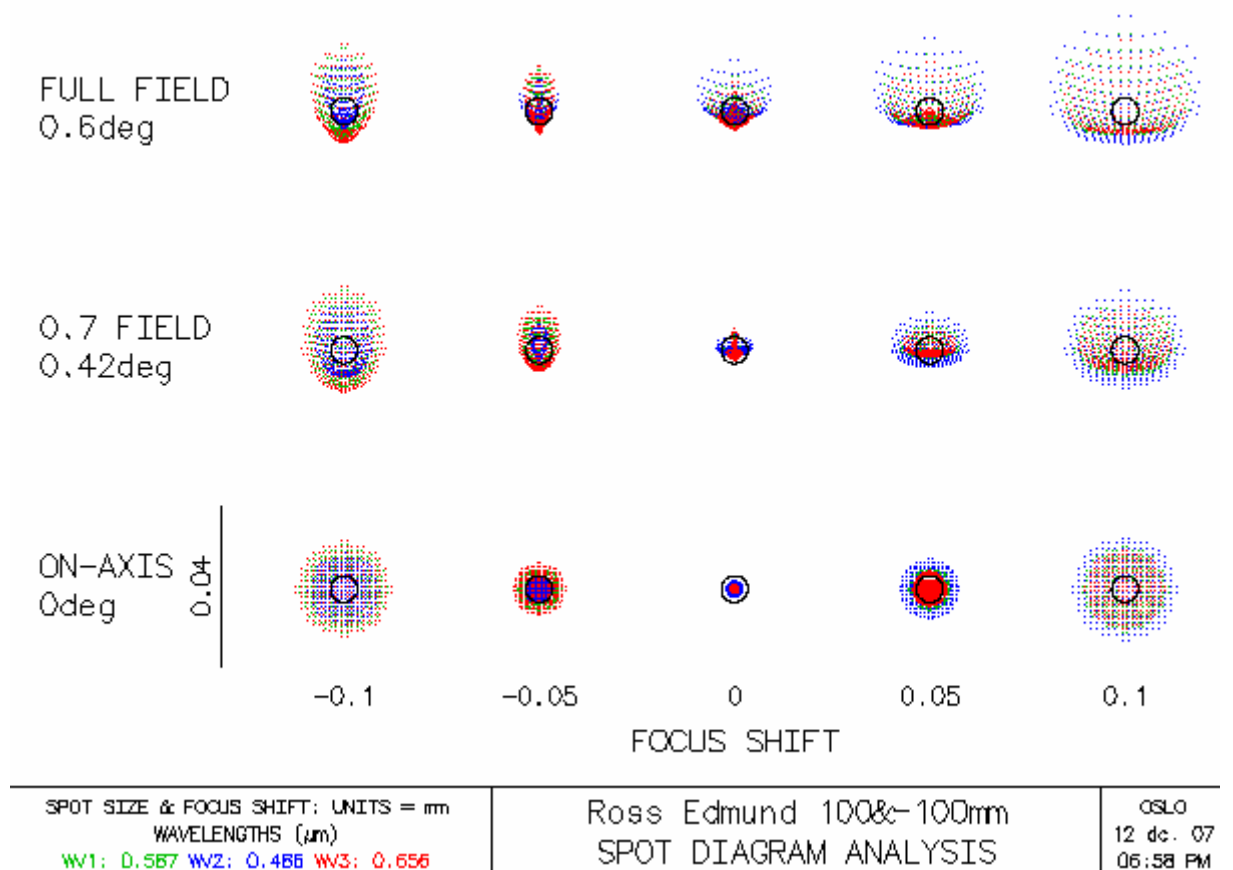
Là encore, le Sphérochromatisme, l'aberration sphérique longitudinale, l'astigmatisme et la courbure de champ sont particulièrement bien corrigés pour cet astrographe de 1200 mm de focale, ouvert à F/4,7.

L'examen page suivante, du spot diagramme, confirme cette analyse. Il montre que le piqué au centre est celui que l'on aurait avec une parabole ou avec une excellente lunette apochromatique du même diamètre -mais sans doute pas de la même ouverture, ce qui est excellent pour la photographie des amas ouverts et le visuel.

À noter surtout, et ce sont là les résultats des diverses simulations, qu'il est inutile de se polariser sur la valeur exacte avec trois décimales du coefficient k en cours de réalisation du miroir, puisqu'il est toujours possible d'annuler l'aberration sphérique en bougeant légèrement la distance entre le correcteur et le plan focal, quitte à avoir un peu d'astigmatisme ou de courbure de champ. Il ne s'agit pas ici de maximiser une performance mais bien d'optimiser celle-ci.

En revanche, il convient de vérifier par simulation si les résultats obtenus sont acceptables, en particulier en termes de champ couvert et de vignettage. A noter que dans ce dernier exemple, le diamètre peut être porté à 300mm sans problèmes.








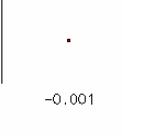
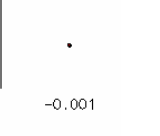
À 0,42°, la tache est très petite aussi. Mais on voit aussi qu'un décalage de +50µ suffit à faire dégénérer les choses, alors qu'avec -50µ de décalage, on améliorera sensiblement les choses en bord de champ sans trop compromettre le centre.



En tout état de cause, cet astrographe est largement utilisable en visuel. Pour une pupille de sortie de 5mm, le grossissement sera de $260/5=52$. Si le champ de l'oculaire fait 65°, le champ couvert sera de $65/52=1,25^\circ$. On sera alors en bord de champ moins limité par l'optique que par l'oculaire.

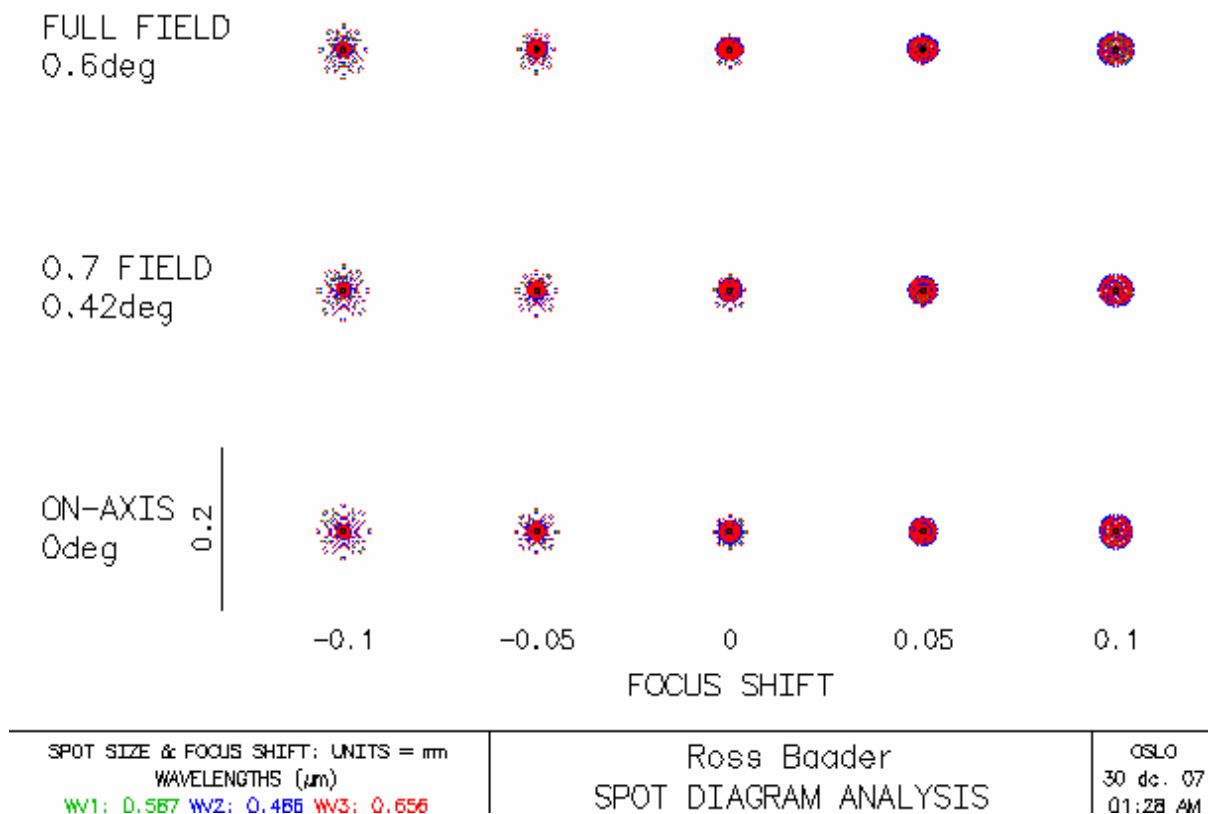
Baader + paraboles ?

Il est intéressant à comparer ces performances à celle des paraboles sans correcteurs pour les trois télescopes, ce que l'on voit ci-dessous. Dans le meilleur des cas, la tache sera environ cinquante fois plus grande en bord de champ à 0,6° comme on peut le comparer page précédente. L'apport du correcteur est donc ici indiscutable.

D=294 ;F=800 ;F/D=2.8	D=250 ;F=1000 ;F/D=4	D=250 ;F=1200 ;F/D=4.8
<p>FULL FIELD 0.5deg</p> 	<p>FULL FIELD 0.6deg</p> 	<p>FULL FIELD 0.5deg</p> 
<p>0.7 FIELD 0.35deg</p> 	<p>0.7 FIELD 0.42deg</p> 	<p>0.7 FIELD 0.35deg</p> 
<p>ON-AXIS 0deg</p>  <p>-0.001</p>	<p>ON-AXIS 0deg</p>  <p>-0.001</p>	<p>ON-AXIS 0deg</p>  <p>-0.001</p>

Accessoirement celui qui dispose d'un télescope parabolique de 250mm, ouvert par exemple à F/4 peut se demander ce que lui apportera un correcteur de Ross tel que celui que nous avons analysé. Le reliquat d'aberration sphérique dû au fait que l'on a une parabole et non une hyperbole sera-t-il acceptable et s'il ne l'est pas, une solution simple est-elle envisageable? Examinons d'abord ce que va nous donner notre télescope auquel on aura adjoint le Baader.

Gen Setup Wavelength Variables Draw Off Group Notes										
Lens: Ross Baader							Efl -1.0023e+03			
Ent beam radius		125.000000		Field angle		0.600000		Primary wavln		0.587000
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE	RADIUS	GLASS	SPECIAL				
OBJ	0.000000	1.7000e+12	1.7803e+10		AIR					
AST	150.000000	1.0010e+03	125.000000	AS	AIR					
2	-2.0000e+03	-931.800000	135.482831	S	REFL_HATCH	A				
3	-114.000000	-2.000000	20.000000		N-BK7	C				
4	-53.870000	-3.500000	20.000000		AIR					
5	-200.100000	-3.500000	20.000000		N-BK7	C				
6	200.100000	0.000000	20.000000		AIR					
IMS	0.000000	-62.002277	10.538962	S						



On le voit la mise au point n'est pas très critique et l'image est homogène sur tout le champ. Celui-ci est plan et l'astigmatisme est absent. La tache fait 35μ du centre au bord, ce qui est trop avec une CCD ayant des pixels de 9μ , le pouvoir de pénétration sera diminué au centre par rapport à la solution sans correcteur. Mais l'image en revanche, est améliorée au bord du champ de $\pm 0,6^\circ$ ou $1,2^\circ$ au total, que l'on pourra pousser sans dommages comme le montrent des simulations, jusqu'à $1,8^\circ$ soit presque 32 mm de diamètre au plan focal.

Les enfants de Franck E. Ross

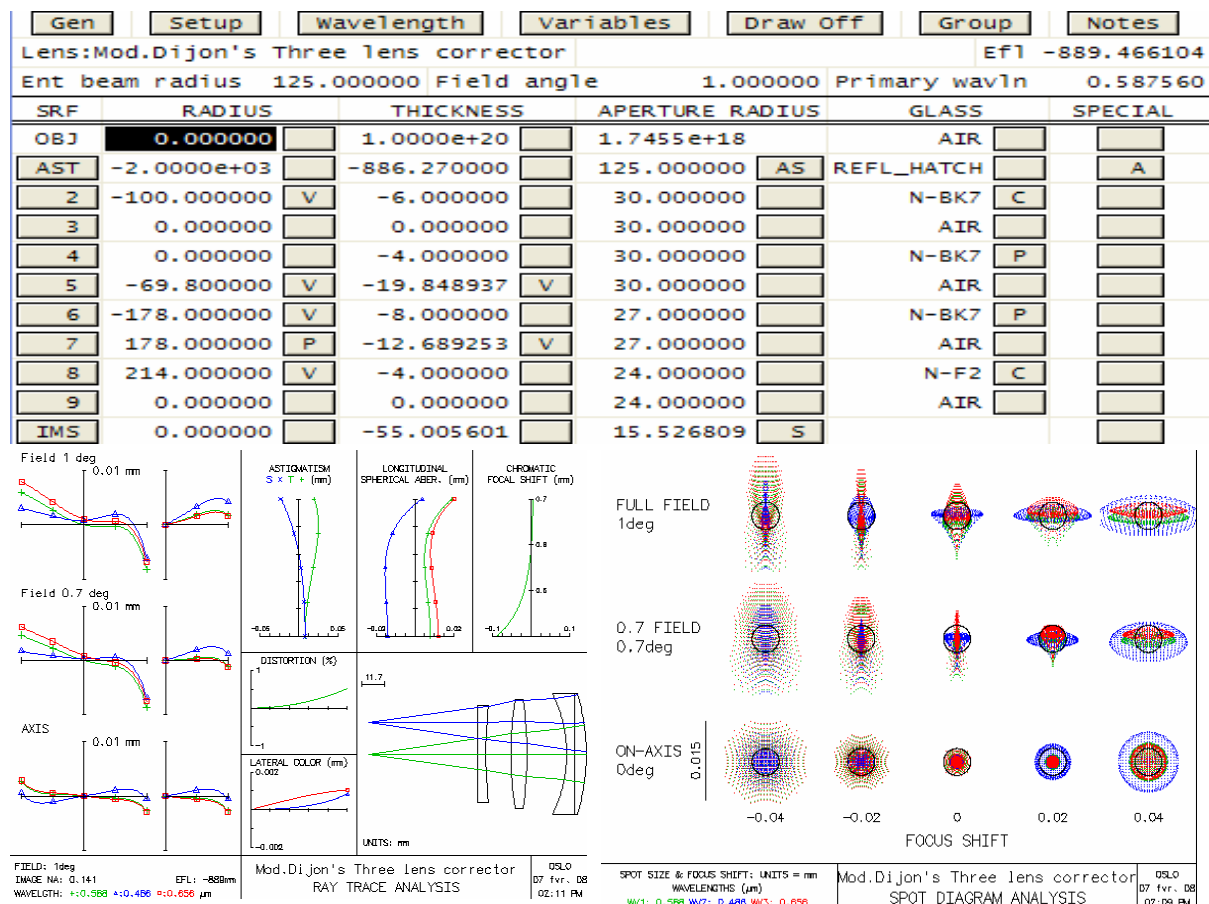
Nous avons tenté de faire un Ross de la seconde espèce en ajoutant, face au correcteur du côté miroir un ménisque, réalisé par collage de deux lentilles plan-concave/plan-convexe de 64mm de rayon de courbure que l'on trouve chez Edmund. Si l'aberration de sphéricité est alors abolie au centre, on introduit de la courbure de champ et de l'astigmatisme, ce qui rend l'ensemble de peu d'intérêt, ce qui ne signifie évidemment pas que cette combinaison est d'une façon générale, sans intérêt !

Jean Dijon⁸ a ainsi conçu deux correcteurs à 3 lentilles, le premier de type Ross qui donne des résultats intéressants sur un champ diamétral de 1.3° , le second plus personnel comporte une lentille supplémentaire près du plan focal. Son objectif était de libérer une variable en aplanissant le champ, ce qui rappelle une proposition faite par

⁸ <http://www.jeandijon.com/>

Baranne dans sa thèse de doctorat. À la différence de ce dernier, cette lentille est en flint, ce qui rappelle le Rosin de 1961. Le champ diamétral sera utilisable sur 2.5° .

Nous présentons ici notre version de ce type de correcteur dont la construction a été simplifiée. La lentille proche du plan focal est en flint F2 ou F4 de Schott. Elle est plan-concave. La lentille intermédiaire est biconvexe en BK7. La lentille frontale en BK7 a été épaissie en sorte d'être scindé en deux lentilles collées, une plan-convexe et une plan-concave, ce qui facilite aussi la réalisation. Le BK7 pourra être remplacé sans dommage par du B270 ou du crown ophtalmique. Le miroir est hyperbolique, $k = -1,5$ ce qui augmente la difficulté. L'ouverture réelle passe de $F/4$ à $F/3.56$ ce qui est avantageux pour le ciel profond. La distance au plan focale a été portée à 55mm au lieu de 36.8mm ce qui devrait permettre l'utilisation d'un APN quelconque. Le positionnement devra être fait à $+1\text{mm}$ du plan focal. Le champ diamétral a été volontairement limité à 2° car la lentille frontale du correcteur a déjà un diamètre de 60mm. L'image a un diamètre de 31.5mm.



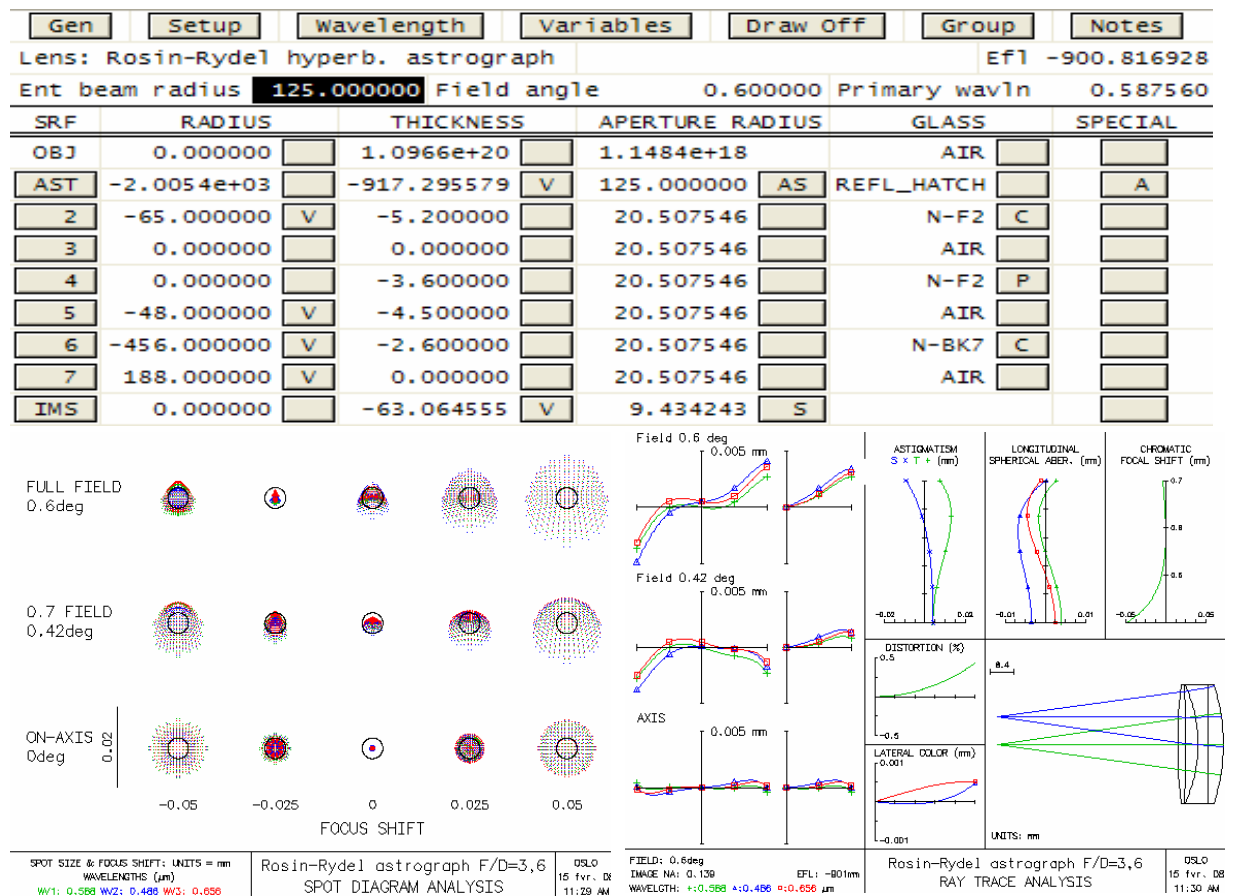
On le voit, l'astigmatisme, la courbure de champ et le chromatisme, sont faiblissime et surtout le champ, la tache d'aberration ne dépasse pas de beaucoup le diamètre du premier anneau de la tache de diffraction. Les performances de ce correcteur ne sont pas éloignées de celle du Wynne, tout en étant bien plus facile à réaliser que ce dernier. Il convient néanmoins d'être conscient que la mécanique sera là aussi importante que l'optique, voire un facteur limitant, avec une mise au point qui ne devra pas bouger de

+ 50 μ voire moins pendant la pause, ce qui n'est pas différent du Wynne. Le réglage est « pointu » et une étude de sensibilité/dispersions devra être faite.

En fait tel que repensé, il devient tout à fait accessible à l'amateur, pour autant que ce dernier récupère une lentille en flint sur un achromat de jumelle, identifie l'indice et la dispersion. Sinon il reste la possibilité d'en trouver chez des fournisseurs de composants optiques. Avec quelques règles de trois et quelques simulations, ce correcteur donnera des résultats superbes si on ne prétend pas travailler dans l'UV (encore que Ohara ait développé un équivalent du F2 amélioré), cela pour un prix des plus raisonnables.

La facilité de réalisation du correcteur de Dijon que j'ai présenté, provient du fait que la quantité de variables (courbures, épaisseurs, distances) est surnuméraire. En fait, Seymour Rosin a montré dès 1961, la possibilité d'utiliser un crown et un flint dans un correcteur à champ élargis, associé à un miroir hyperbolique comme dans le cas du Ross⁹. Lind¹⁰ a proposé une version amateur de ce type de télescope¹¹.

Je propose ici la mienne, équipé d'un miroir de 250mm ouvert à F/4 et k=-1,41, afin de faciliter les comparaisons, mais le F/D *final* est égal à 3,6 car ce correcteur réduit la focale dans un rapport x0,9 ce qui est favorable au ciel profond.



⁹ Seymour Rosin, "Optical Systems for Large Telescopes", *Journal of the Optical Society of America*, Volume 53, No. 3, March, 1961, pp. 331-335.

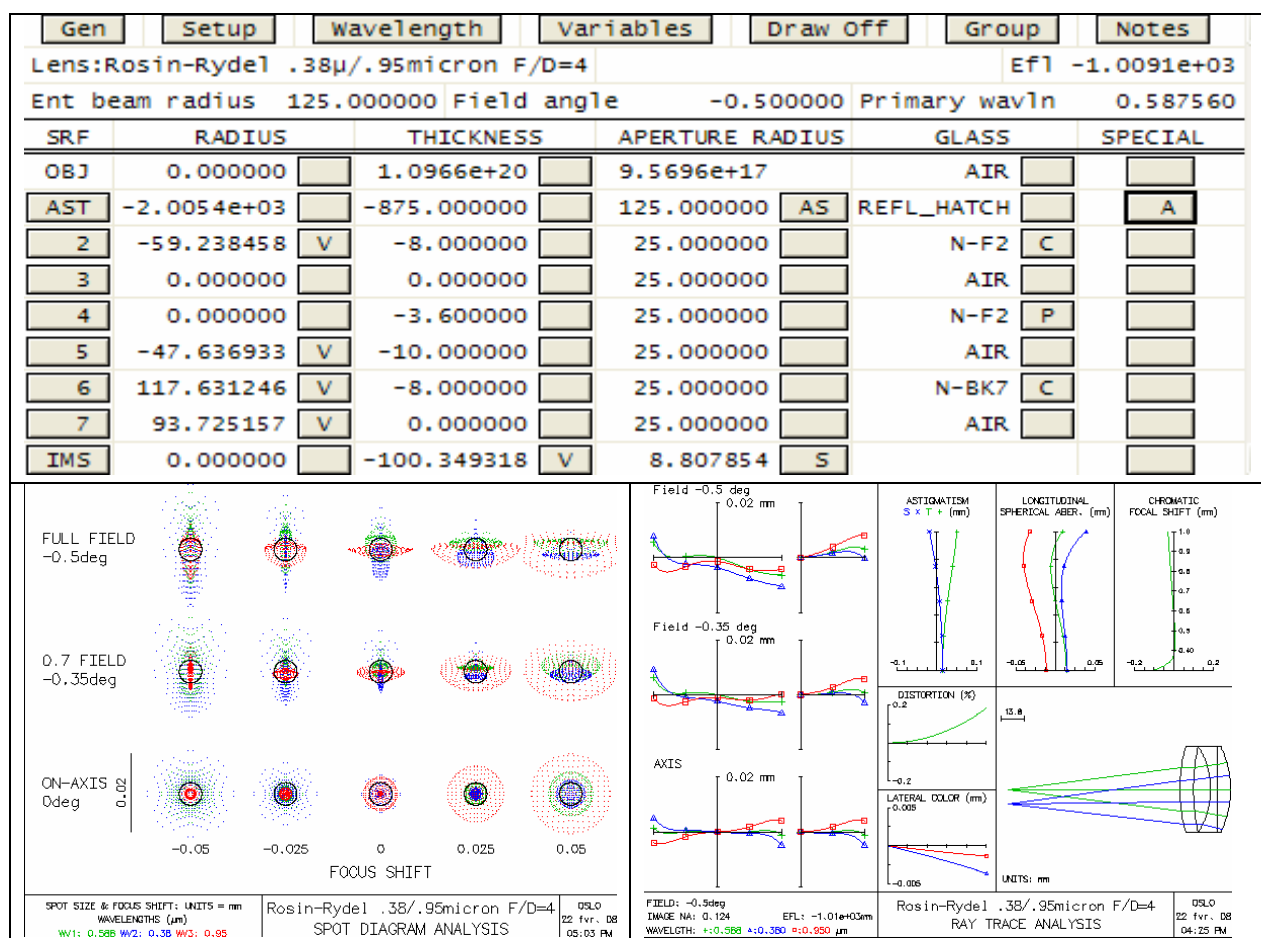
¹⁰ P.Lind, "A 8-Inch hyperbolic astrograph", *S&T*, Dec.1996, p.83-86

¹¹ <http://www.astronomytechnologytoday.com/pdfs/files/pages%2052-57.pdf>

Le ménisque épais en flint N-F2 de Schott, est réalisé sous la forme d'une lentille plan-convexe accolée à une lentille plan-concave afin d'en faciliter la réalisation et le réglage de l'épaisseur, paramètre important. La seconde lentille est ici en BK7, remplaçable par un K5 ou B270 moyennant une resimulation.

Ici limité à $\pm 0.6^\circ$ pour la comparaison, le champ est d'une belle qualité, bien meilleur que sur un Ross et permet d'accueillir des petits pixels jusqu'à l'extrême bord du champ diamétral de 19 mm. La raison en est le champ plan et le sphérochromatisme absolument négligeable. Il est même susceptible de s'étendre à $\pm 0.85^\circ$, soit 27 mm de champ diamétral, parfait par exemple pour un CCD Kaf-1301 avec des pixels de 16μ en $20,5 \times 16,4$ mm ou un APN.

En restreignant le champ diamétral à 1° , il est possible de couvrir la bande 380-950nm du S_i avec moins de 10μ de tache. En fait ce type de correcteur semble avoir un potentiel qui n'a pas été exploité jusqu'à ce jour au plan industriel et on le verra dans la deuxième partie, il supprime des correcteurs utilisant les matériaux des plus exotiques. C'est ce que nous pouvons voir sur cette version qui en outre à un recul (BFL) de 100 mm permettant d'ajouter une roue à filtre. Avec $K=-1.43$, tous ces correcteurs ont des hyperboles plus déformées qu'avec un Ross et ne sont plus utilisables en R.C.



Baader versus Sub-Maksutov

On peut se demander si un simple ménisque (sub-Maksutov) monté sur le secondaire d'un Newton n'est pas susceptible de donner des résultats plus convaincants que le Baader. Nous avons montré dans un autre article que les résultats étaient dignes d'intérêt, bien que sur un champ assez réduit. Quid de notre astrographe ouvert à F/4 ? Ici pas de miracles. Si au centre on retrouve les caractéristiques de la parabole, on retrouve grosso modo une tache équivalente à celle du Baader vers $\pm 0,2^\circ$, ce qui n'est pas très concluant, car la coma est insuffisamment corrigée. En fait ce genre de correcteur semble d'autant plus efficace qu'on en a moins besoin!

Conclusions

On peut dire que ce correcteur de Ross réalisé par Baader est étonnant par la pluralité de focales qu'il est possible de couvrir et la qualité de l'imagerie qu'il est susceptible de fournir y compris en visuel si l'on réalise un primaire hyperbole au lieu d'une parabole. En outre et il est très possible qu'il s'accorde à des focales un peu plus courtes ou plus longues encore. Le tableau résume les caractéristiques d'emploi optimales des focales qui sont très utilisées chez

	800mm Baader	1000mm Baader	888mm (Dijon)	1200mm Baader	900 mm (Rosin)
Couverture	1°	1.2°	2°	1.2°	1.2°
Diagonale.	14,3 mm	20.4 mm	31mm	24,5 mm	19 mm
k	-1,3055	-1,25	-1.45	-1,21	-1.41
e	61,6 mm	62 mm	46.7 mm	62 mm	63 mm

La position recommandée par Baader est 55 mm devant le plan focal.

l'amateur, sachant que des aménagements restent possibles : il convient de savoir que la distance au plan focale joue essentiellement sur l'astigmatisme et la planéité du champ, tandis que l'on ajustera l'aberration sphérique par la déformation du miroir.

Pour les systèmes très ouverts, on sera certainement d'avantage limité par la collimation et sa stabilité, par l'expansion du tube que par l'optique, il convient d'en être conscient. Il faut signaler aussi une faiblesse du Baader qui réside dans l'égalité des courbures de la lentille biconvexe. En prenant deux rayons différents, il aurait été possible d'annuler le sphérochromatisme vers 70 % du champ ce qui aurait permis d'avoir une définition légèrement améliorée. Cela dit, la différence de rayon aurait été faible, introduisant un problème de repérage et de tests, difficiles à résoudre pour le fournisseur, cela au final se répercutant sur le coût. La correction d'un parabolique ouvert à F/4 avec le Baader n'est pas convaincante, les résultats seront indiscutablement meilleurs à F/6.

La variante « Ross-Dijon » donne des résultats excellentissimes et les simplifications proposées plus haut n'invalident pas les performances qui pourront s'étendre jusqu'à 3°

de champ, ce qui est du même ordre de grandeur que le Wynne (qui, il est vrai, est conçu pour une parabole) tout en étant réalisable par l'amateur pour un coût modique, au prix, il est vrai d'une hyperbole assez accentuée. Enfin, nous verrons dans la seconde partie, qu'un correcteur de Ross est « faisable » à partir de lentilles standards à un coût moindre que celui du Baader qui est déjà très abordable. Reste alors à comparer ce correcteur au Baader.

Le correcteur « flint/crown » que je présente et qui est une variante du Ross déjà présenté par S.Rosin en mars 1961, donne des résultats particulièrement bons sur un champ assez large, du même niveau que la variante simplifiée du correcteur de Dijon qui lui restera meilleur sur le bord du champ. Sa correction chromatique est excellentissime, meilleur que le Roos classique. Ici aussi, le prix à payer est une hyperbole assez forte sur le miroir, le rendant incompatible avec une combinaison R.C.

Un dernier point commun à tous les correcteurs: la distorsion qui peut atteindre 1%. Elle rendra difficiles les mosaïques si elle n'est pas corrigée au préalable.