

CR Zemax – TD2 : TÉLESCOPES DE TYPE CASSEGRAIN

(Nom Prénom, Group, date etc)

Introduction : L'objectif de ce TD est d'évaluer la performance d'une série de télescopes de type Cassegrain de focale 1.25 m, composée de un miroir primaire concave et un miroir secondaire convexe. Le système travaille en conjugaison infini-foyer et pour un champ angulaire de 0.3° . On va commencer par une configuration à deux miroirs sphériques et progressivement on va asphériser un seul miroir ou éventuellement les deux miroirs du télescope, afin d'améliorer la performance du système.

Questions de préparation :

- 1...
- 2...
- 3...

1. CONFIGURATION A MIROIRS SPHERIQUES

Commençons par la configuration la plus simple, c'est-à-dire à deux miroirs sphériques (constante de conicité de zéro) et pour un point object sur l'axe (*Figure 1*).

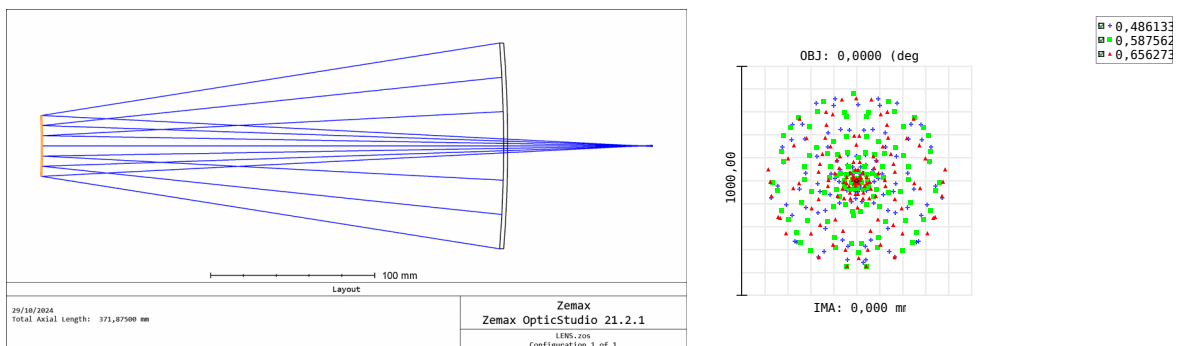


Figure 2. Tache-image du télescope en polychromatique.

Surface Type	Comment	Radius	Thickness	Material	Coating	Clear Semi-Dia	Chip Zone	Mech Semi-Dia	Conic	TCE x 1E-6
0 OBJECT	Standard	Infinity	Infinity			0,000	0,000	0,000	0,0...	0,000
1 STOP	Standard	M1	-800,000	MIRROR		62,500	0,000	62,500	0,0...	0,000
2	Standard	M2	-350,000	MIRROR		18,495	0,000	18,495	0,0...	0,000
3 IMAGE	Standard	Infinity	-			0,389	0,000	0,389	0,0...	0,000

Figure 1. Notre système optique initiale à deux miroirs sphériques.

Dans le plan paraxiale, pour une longueur d'onde de travail à $587\mu\text{m}$, le rayon géométrique de la tache-image est de $388\mu\text{m}$ ($>>$ tache d'Airy). On vérifie que nous avons un système très aberrant en regardant le Point Spread Function de la figure 3 (Huygens puisque nous avons des aberrations importantes), qui donne une valeur de rapport de Strehl de 0.016 . L'énergie encerclée montrée sur la figure 3 donne une valeur du rayon de la tache de diffusion compatible avec le spot diagram de la fig. 2, c'est-à-dire d'environ $380\mu\text{m}$. A l'aide de la fenêtre graphique Wavefront Map, on trouve une amplitude de l'écart normal aberrant de $8,2\lambda$ et une valeur RMS de $2,4\lambda$.

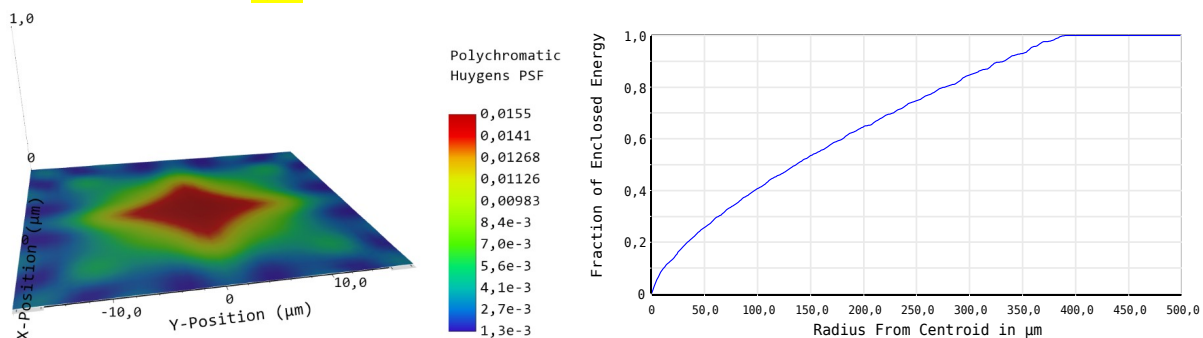


Figure 3. Profile de l'intensité de la réponse percutonnelle (PSF) à gauche et énergie encerclée à droite.

Z 1	2,73443849	:	1
Z 2	0,00000000	:	$4^{(1/2)} (p) * \cos (A)$
Z 3	0,00000000	:	$4^{(1/2)} (p) * \sin (A)$
Z 4	2,36765393	:	$3^{(1/2)} (2p^2 - 1)$
Z 5	0,00000000	:	$6^{(1/2)} (p^2) * \sin (2A)$
Z 6	0,00000000	:	$6^{(1/2)} (p^2) * \cos (2A)$
Z 7	0,00000000	:	$8^{(1/2)} (3p^3 - 2p) * \sin (A)$
Z 8	0,00000000	:	$8^{(1/2)} (3p^3 - 2p) * \cos (A)$
Z 9	0,00000000	:	$8^{(1/2)} (p^3) * \sin (3A)$
Z 10	0,00000000	:	$8^{(1/2)} (p^3) * \cos (3A)$
Z 11	0,61086900	:	$5^{(1/2)} (6p^4 - 6p^2 + 1)$
Z 12	0,00000000	:	$10^{(1/2)} (4p^4 - 3p^2) * \cos (2A)$
Z 13	0,00000000	:	$10^{(1/2)} (4p^4 - 3p^2) * \sin (2A)$
Z 14	0,00000000	:	$10^{(1/2)} (p^4) * \cos (4A)$
Z 15	0,00000000	:	$10^{(1/2)} (p^4) * \sin (4A)$
Z 16	0,00000000	:	$12^{(1/2)} (10p^5 - 12p^3 + 3p) * \cos (A)$
Z 17	0,00000000	:	$12^{(1/2)} (10p^5 - 12p^3 + 3p) * \sin (A)$
Z 18	0,00000000	:	$12^{(1/2)} (5p^5 - 4p^3) * \cos (3A)$
Z 19	0,00000000	:	$12^{(1/2)} (5p^5 - 4p^3) * \sin (3A)$
Z 20	0,00000000	:	$12^{(1/2)} (p^5) * \cos (5A)$
Z 21	0,00000000	:	$12^{(1/2)} (p^5) * \sin (5A)$
Z 22	-0,00019606	:	$7^{(1/2)} (20p^6 - 30p^4 + 12p^2 - 1)$
Z 23	0,00000000	:	$14^{(1/2)} (15p^6 - 20p^4 + 6p^2) * \sin (2A)$

Seidel Aberration Coefficients in Waves:

Surf	W040	W131	W222	W220P	W311	W020	W111
STO	12,680595	-0,000000	0,000000	-0,000000	0,000000	-0,000000	0,000000
2	-4,469720	0,000000	-0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	-0,000000
IMA	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
TOT	8,210786	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Surf	TSPH	TSCO	TTCO	TAST	TPFC	TSFC	TFFC
STO	0,596046	-0,000000	-0,000000	0,000000	-0,000000	0,000000	0,000000
2	-0,210099	0,000000	0,000000	-0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
IMA	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
TOT	0,385948	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Figure 4. Coefficients de Zernike à gauche et de Seidel à droite.

Sur la figure 4 on observe la présence de l'aberration sphérique du 3ème ordre (Z11) et du 5ème ordre (Z22). Les polynômes Z1 et Z4 correspondent au piston et au défocus, respectivement. Egalement, avec les coefficients de Seidel on observe la contribution positive du M1 et négative du M2 qui se compensent partiellement pour donner une valeur positive de l'écart normal du système.

2. TÉLESCOPE DE CASSEGRAIN CLASSIQUE

Pour avoir deux miroirs séparément stigmatiques on a choisi un miroir parabolique (constante de conicité de $c1=-1$) et on a cherché à optimiser la constante de conicité du miroir secondaire, $c2$. On a réalisé l'optimisation en minimisant l'écart normal du front d'onde et on a trouvé une valeur de $c2$ de $-3,768$. Ensuite on va évaluer la performance de notre système.

Selon la décomposition de Seidel on observe une compensation parfaite des coefficients de l'aberration sphérique après le miroir M2. On peut conclure que l'asphérisation de deux miroirs donne un système optique en limite de diffraction pour un point objet sur l'axe.

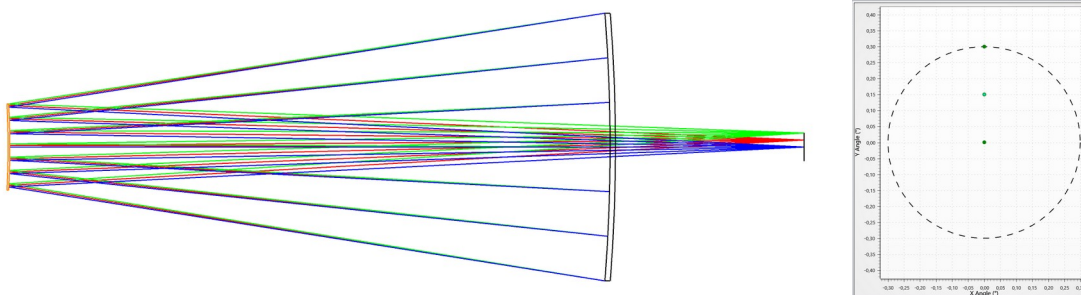


Figure 5. Télescope Cassegrain classique pour un champ max de $0,3^\circ$.

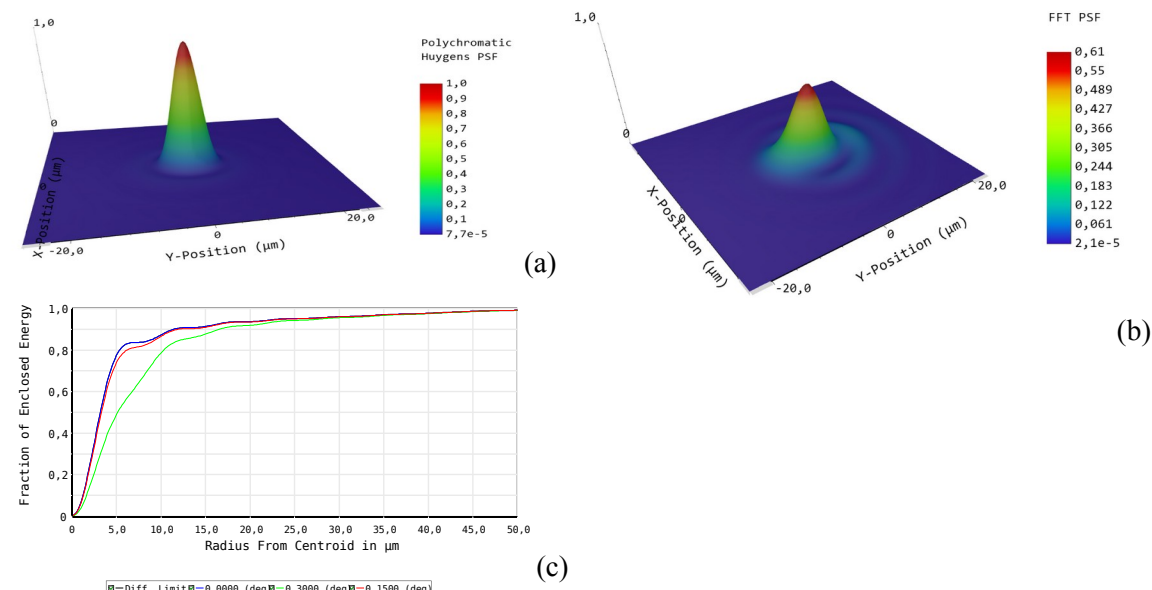


Figure 6. (a),(b) PSF sur l'axe et hors d'axe et (c) énergie encerclée.

An ajoutant maintenant un champ de $0,15^\circ$ et $0,3^\circ$ (Fig. 5), on observe la PSF qui diminue ($R_s=0,61$ pour $0,3^\circ$). On a testé les différentes options d'échantillonnage selon les consignes pour avoir une bonne résolution autour du max de la PSF. L'énergie encerclée montre aussi une augmentation du rayon de la tache de diffusion dans le champ. Le télescope n'est plus en limite de diffraction pour le champ max (on ne respecte plus le critère de Maréchal). Sur la fig. 7 on observe les aberrations de champ qui apparaissent quand on augmente le champ. La présence de la coma est évidente (voir forme du spot diagram et de l'écart normal). Les coefficients de Seidel pour les aberrations transverses montrent aussi la présence de l'astigmatisme. La grandeur la plus adaptée pour décrire la tache image est le rayon géométrique (GEO) du spot diagramm.

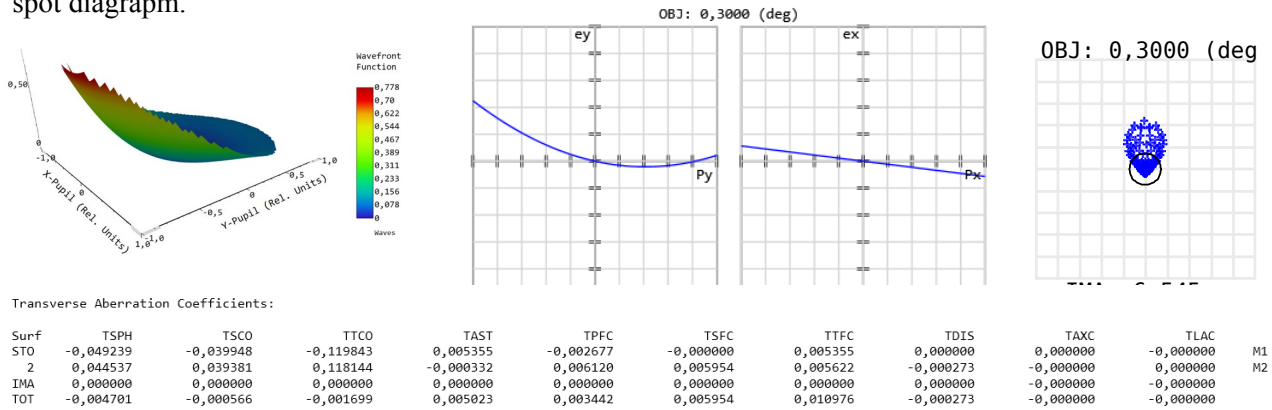
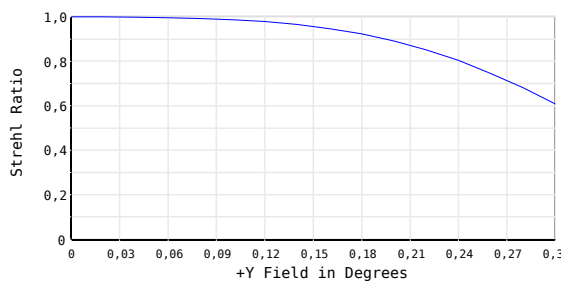


Figure 7. Ecart normal aberrant, graphes des intersections des rayons dans le plan image en fonction de la hauteur d'impact sur la pupille, spot diagram et coefficients de Seidel au bord du champ.



Pour conclure sur cette partie on a regardé le champ maximal pour lequel on respecte le critère de Maréchal avec le plot de la figure 8. La valeur trouvée est $0,24^\circ$. L'aberration la plus gênante reste la coma, qui déforme notre front d'onde et notre tache de diffusion.

Figure 8. Rapport de Strehl en fonction du champ.

3. RITCHEY- CHRÉTIEN

Pour améliorer la performance du télescope (notamment la coma) on a re-optimisé en mettant comme variables les constantes de conicité des deux miroirs. Afin d'avoir un système aplanétique on a changé le critère d'optimisation. Cette fois on a essayé d'optimiser le RMS du spot diagram. Après optimisation on a trouvé $c1=1,083$ et $c2=4,567$. Les coefficients de Seidel montrent une diminution importante de la coma (compensation presque parfaite après les deux miroirs) par rapport à la configuration d'avant (Fig. 9 - coef. TSCO). Le système est aplanétique.

Seidel Aberration Coefficients in Waves:											
Surf	W040	W131	W222	W220P	W311	W020	W111				
STO	-1,047519	-3,399454	0,227836	-0,113918	0,000000	-0,000000	0,000000	M1			
2	0,947500	3,351253	-0,014128	0,260384	-0,023220	0,000000	-0,000000	M2			
IMA	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000				
TOT	-0,100019	-0,048201	0,213707	0,146466	-0,023220	0,000000	0,000000				
Transverse Aberration Coefficients:											
Surf	TSPH	TSCO	TTCO	TAST	TPFC	TSFC	TTFC	TDIS	TAXC	TLAC	M1
STO	-0,049239	-0,039948	-0,119843	0,005355	-0,002677	-0,000000	0,005355	0,000000	0,000000	-0,000000	
2	0,044537	0,039381	0,118144	-0,000332	0,006120	0,005954	0,005622	-0,000273	-0,000000	0,000000	
IMA	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	-0,000000	-0,000000	
TOT	-0,004701	-0,000566	-0,001699	0,005023	0,003442	0,005954	0,010976	-0,000273	-0,000000	-0,000000	

Figure 9. Coefficients de Seidel pour le télescope de Ritchey-Chrétien.

La réponse percussionnelle sur l'axe reste en limite de diffraction et dans le champ assez proche, avec un rapport de Strehl de 0,74 (fig.10). La grandeur la plus adaptée pour décrire la PSF est le rapport de Strehl. La forme du spot diagram de la fig. 11 montre l'aberration résiduelle qui est l'astigmatisme. Mais la

tache de diffusion reste toujours inférieure de la tache d'Airy. L'amplitude de l'écart normal est $PV=0,41\lambda$ et $RMS=0,08\lambda$ au bord du champ.

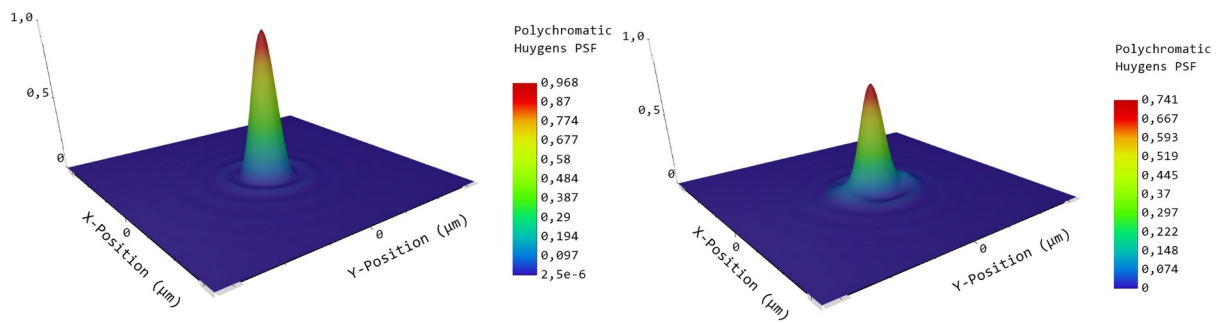


Figure 10. PSF sur l'axe (gauche) et hors d'axe (droite).

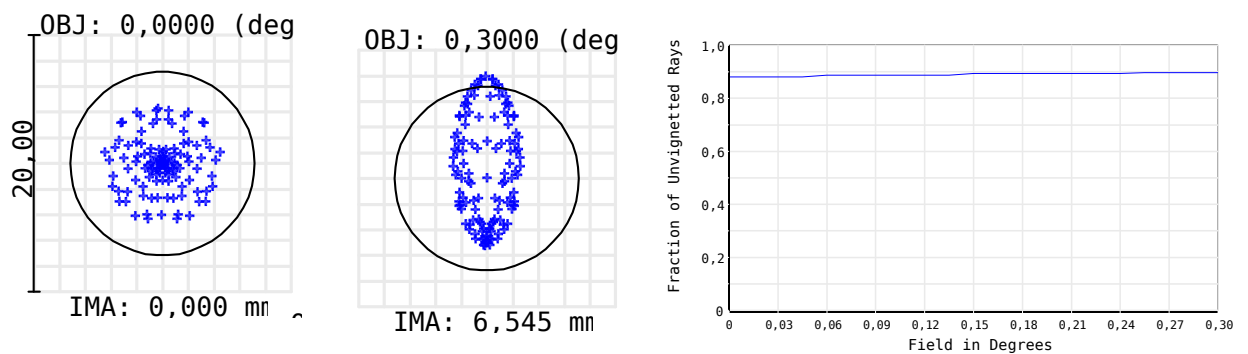


Figure 11. tache de diffusion (gauche) et transmission du télescope avec l'obturation centrale (droite).

Pour terminer cette partie on a ajouté l'obturation centrale et on a évalué la transmission du télescope. Heureusement $T \approx 90\%$ qui est acceptable (idéalement on préfère une transmission minimale de 80%). Le champ maximal pour lequel on respecte le critère de Maréchal est $0,28^\circ$. On a réussi à augmenter le champ max par rapport au Cassegrain classique.

4. DALL-KIRKHAM & PRESSMAN-CAMICHEL

On a évalué rapidement à la fin de la séance deux types de télescopes pour lesquels on a asphériser un de deux miroirs et on a conservé le deuxième avec $c=0$. Cette solution doit être moins coûteuse en termes de fabrication des optiques puisque on utilise un miroir sphérique mais on a constaté que la performance n'est pas suffisante. Nous avons un système optique loin de la limite de diffraction avec la coma très importante dans tous les cas. Si on veut comparer les 2 configurations, on obtient de meilleurs résultats quand on asphérise le miroir primaire mais la différence reste légère.

Conclusions :

- Pendant cette séance on a comparé la performance de différents types de télescopes à deux miroirs.
- Le télescope à deux miroirs sphériques présente de l'aberration sphérique même sur l'axe. Le système est très aberrant et il ne respecte pas le critère de Maréchal.
- Le Cassegrain classique avec un miroir parabolique et un miroir asphérique présente une amélioration de la performance mais la coma est gênante. Le télescope peut travailler jusqu'à $0,24^\circ$.
- Le Ritchey-Chrétien, avec deux miroirs asphériques, est le meilleur système optique parmi les autres. La coma est réduite. Le télescope peut travailler jusqu'à $0,27^\circ$.
- Comparativement aux lentilles sphériques, les lentilles asphériques permettent la réduction importante des aberrations géométriques (notamment la coma qui est l'aberration principale dans ce types de télescopes) mais le coût de l'asphérisation peut être élevée en fonction de la valeur de constante de conicité, la taille des optique et les matériaux utilisés.

!! ON N'OUBLIE PAS D'AJOUTER LA FEUILLE DES RESULTATS AVEC NOS VALEURS !!