

Correction des aberrations sur l'axe d'une lunette

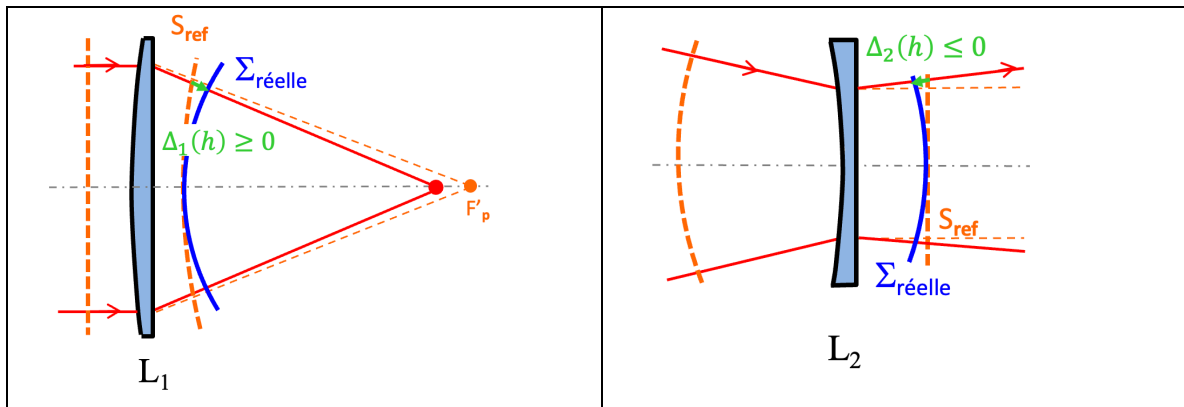
Corrigé rapide

A. Mise en place géométrique

1. & 2. En comparant la hauteur d'impact sur L_2 et l'objectif d'un rayon limité par L_1 , il apparaît que L_1 limite l'ouverture numérique de l'ensemble : $h_2 = \frac{\varnothing_1/2}{G} < \frac{\varnothing_2}{2}$ et également $\frac{F/3}{2}$ (objectif photo). D'où $\sin \alpha'_m = \frac{h_{2max}}{F} = \frac{12,5}{2,5 \times 50} = 0,10$ (au niveau du récepteur).
 $\Rightarrow L_1$ est la pupille d'entrée, de diamètre $\varnothing_1$.
 $\Rightarrow$ Le diamètre de la pupille de sortie de la lunette est $2h_{2max} = \frac{\varnothing_1}{G} = 10$ mm.
3. $\varnothing_{Airy} = \frac{1,22\lambda}{\sin \alpha'_m} = 7 \mu\text{m} < \text{pixel} \Rightarrow$ les pixels limitent la résolution

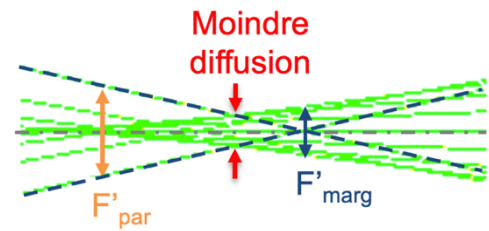
B. Aberration sphérique du 3^{ème} ordre

1. Théorème de Gouy : $n'_t \Delta'_t = \sum n'_i \Delta'_i$ avec ici tous les indices = 1 (air) $\Rightarrow$ on somme les contributions de chaque optique *séparément*, considérant qu'elles sont éclairées par une onde parfaite dans la configuration (conjugaison, ouverture...) pour laquelle elles travaillent.
2. L_1 : lentille plan-sphérique convergente $\Rightarrow$ les rayons réels sont plus déviés que les rayons paraxiaux $\Rightarrow$ onde réelle en avance de phase $\Delta'_1 \geq 0$ (avec les conventions de signe habituelles)
 $\rightarrow \Delta'_{1max} = 31 \mu\text{m}$ au bord de la pupille ($h_1 = \varnothing_1/2$) avec les formules données en annexe
 L_2 : lentille plan-sphérique divergente $\Rightarrow$ les rayons réels sont plus déviés que les rayons paraxiaux $\Rightarrow$ onde réelle en retard de phase $\Delta'_2 \leq 0$.
 $\rightarrow \Delta'_{2max} = -49 \mu\text{m}$ au bord de la pupille ($h_{2max} = h_{1max}/2,5$) – NB : principe du retour inverse, on peut utiliser la même expression de Δ en $\infty \rightarrow F'$ ou en $F' \rightarrow \infty$, avec face plane vers l' ∞ ici.



3. L'écart normal aberrant du système dans son ensemble est $\Delta_{max} = \Delta'_{1max} + \Delta'_{2max} = -18 \mu\text{m}$ (soit -30λ) au bord de la pupille (aberration sphérique du 3^{ème} ordre sur-corrigée).
4. (cf. démo. cours & TD) $\sigma_\Delta = \frac{4\Delta_{max}}{6\sqrt{5}} \cong 9 \lambda$ (mise au pt paraxiale) $\gg 0,07\lambda \Rightarrow$ critère de Maréchal non vérifié : la réponse percussionnelle est très différente d'une tache d'Airy, et une description géométrique en est donc suffisante.
5. $u = \frac{\alpha'}{\alpha'_m}$ avec $\alpha' = \frac{h_2}{F'} = \frac{h_1}{2,5 \times F'}$ $\Rightarrow$ écart normal d'aberration sphérique de la forme $\Delta'(\alpha', \varphi) = \Delta_{max} \frac{\alpha'^4}{\alpha'^4_m}$.

6. Relations de Nijboer avec $\frac{\partial \Delta}{\partial \varphi} = 0 \Rightarrow$ équation d'un disque de rayon max $\frac{4\Delta_{max}}{\alpha'_m \times \cos \alpha'_m} \cong 710 \mu\text{m} \gg$ taille des pixels : défaut rédhibitoire !
7. Au foyer de moindre diffusion, le rayon est divisé par 4 $\Rightarrow$ la tache reste très supérieure aux pixels.
8. $dy'_T(u)$: impact des rayons du plan tangentiel ($\varphi = 0 - 180^\circ$) par rapport à l'image paraxiale, dans le plan image paraxial, en fonction de la hauteur d'impact normalisée dans la pupille u .
- courbe b. mise au point paraxiale ($dy'_T(u)$ tangent à l'axe des abscisses : valeurs proches de 0 pour les rayons paraxiaux) ;
 - courbe c : mise au point au foyer de moindre diffusion (étalement minimal des rayons $\Rightarrow$ taille de tache minimale) ;
 - courbe d : mise au point au foyer marginal ($(dy'_T(u = 1) = 0)$) ;
 - courbe a : défaut de mise au point positif (hors de la caustique)
9. Compensation rigoureuse de l'aberration sphérique de L_1 par celle de L_2 si $\Delta'_{2max} = -31 \mu\text{m} \Leftrightarrow n_2 = 1,741$ ($\sim$ SF10) (et donc un rayon de courbure de la face concave de L_2 $R_2 = -17,8 \text{ mm}$). Le choix d'un verre de dispersion différente de celui de L_1 peut permettre la correction du chromatisme.
10. Comparaison des différentes configurations possibles : il faut garder L_1 dans le bon sens, car c'est l'optique la plus aberrante ; L_2 doit apporter une aberration assez forte pour la compenser, malgré sa focale plus faible ($\Delta \propto f'$ à ouverture numérique donnée). On ne trouve aucun verre réaliste pour L_2 dans les autres configurations.



Tracé des rayons autour des foyers
(aberration sphérique sur-correctée)

	<u>Aberration Sphérique</u> (L_1 & L_2 en BK7)	<u>Correction</u> (L_1 : BK7 / L_2 : ?)
	$\Delta = -18 \mu\text{m}$	$n_1 = 1,52$ (BK7) $n_2 = 1,74$ (SF10)
	$\Delta = +19 \mu\text{m}$	$n_1 = 1,52$ $n_2 = 1,34$
	$\Delta = +73 \mu\text{m}$	$n_1 = 1,52$ $n_2 = 1,27$
	$\Delta = +109 \mu\text{m}$	$n_1 = 1,52$ $n_2 = 1,18$