Problème : correcteur d'ouverture de Schmidt (examen eso 2021-22)

I 1) $\Delta = \dfrac{h^4}{4R^3} = \dfrac{h_{max}^4}{4R^3}\, u^4 = \Delta_{M,max}\, u^4$.

Ici, $h_{max} = \dfrac{f'}{2N}$ avec $f' = \dfrac{R}{2} = -1\,m$ et $N = 3$.

2) $\left.\begin{array}{l} h_{max} = 0{,}17\ mm \\ R = -2m \end{array}\right\}$ d'où $\Delta_{M,max} = \underline{-24\,\mu m}$

3) $\Delta_{total} = \Delta_M - \Delta_L$ d'après le théorème de Gouy.

4) $\boxed{\Delta_L(u) = (n-1)\underbrace{(e(u) - e_0)}_{\text{variation d'épaisseur par rapport au centre de la lame}}}$.

$e(u=1) = e_0 + \dfrac{\Delta_L(u=1)}{n-1} = e_0 + \dfrac{\Delta_{M,max}}{n-1}$

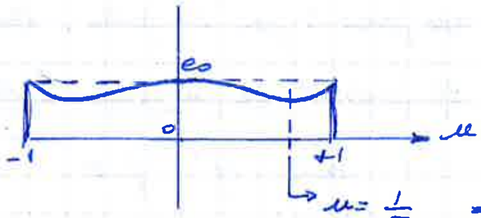
$e(u=1) = 10\ mm - 48\ \mu m = \underline{9{,}952\ mm}$

5) $e^*(u) = e_0 + \dfrac{\Delta_L^*}{n-1} = e_0 + \dfrac{\Delta_{M,max}\,(u^4 - u^2)}{n-1}$

Les variations d'épaisseur ont été réduites d'un facteur 4.

$\Delta e^* = \dfrac{48\,\mu m}{4} = \underline{12\,\mu m}$

6)



$u^4 - u^2$ est minimal pour $|u| = \dfrac{1}{\sqrt{2}}$

$\to u = \dfrac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow h = \dfrac{h_{max}}{\sqrt{2}} = \underline{0{,}12\,m}$.

II 1) L'écart normal de chromatisme axial paraxial s'écrit : $\Delta = \dfrac{h^2}{2f'\nu}$

Ici, $f' \simeq \infty$ donc $\Delta = 0$.

2) Les rayons passant par le centre de la lame ressortent dans la même direction, quelle que soit la longueur d'onde. Le chromatisme latéral paraxial est donc nul (pas d'effet prismatique).

3) a) $\boxed{\Delta^*_{L,\lambda}(u) = [n(\lambda) - 1](e^*(u) - e_0)}$

3) b) $\Delta^*_{L,\lambda_J}(u) = [n(\lambda_J) - 1]\,(e^*(u) - e_0)$

d'où $\boxed{\Delta^*_{L,\lambda}(u) = \dfrac{n(\lambda) - 1}{n(\lambda_J) - 1}\, \Delta^*_{L,\lambda_J}}$

3) c) $\boxed{\Delta^*_{sph.chr}(u) = \dfrac{n(\lambda_B) - n(\lambda_R)}{n(\lambda_J) - 1}\, \Delta^*_{L,\lambda_J}} = \boxed{\dfrac{\Delta^*_{L,\lambda_J}}{\nu}}$

d'où $\boxed{\Delta^{*}_{sph.chr}(u) = \dfrac{\Delta_{R,max}}{\nu}(u^4 - u^2)}$

3) d) $dy' = \dfrac{\partial \delta^{*}}{\partial \alpha'} = \dfrac{\partial \Delta^{*}_{sph.chr}}{\partial u} \cdot \dfrac{\partial u}{\partial \alpha'}$

$= \dfrac{\Delta_{M,max}}{\nu}(4u^3 - 2u)_{u=1} \times \dfrac{1}{\alpha'_{max}}$

$$\boxed{dy'_{sph.chr} = \frac{2\Delta_{M,max}}{\nu} \cdot \frac{1}{\alpha'_{max}}} = \frac{1}{\nu} \times (dy')_{\text{miroir seul, meilleur foyer}}$$

$\alpha'_{max} = \dfrac{1}{2N} = \dfrac{1}{6}$ rad. $\rightarrow$ $dy' = -4{,}5\ \mu m$

$R_{Airy} = 1{,}22\lambda_J N = 2{,}1\ \mu m$ $\rightarrow$ $dy'_{sph.chr} > R_{Airy}$

Le sphérochromatisme est limitant.

III 1) La lame seule imprime sa déformation sur le front d'onde, qui est donc entaché d'aberration sphérique (de Zernike) seulement.

Elle n'introduit donc pas d'autres aberrations : ni coma, ni astigmatisme, ni courbure de champ, ni distorsion.

2) Avec la pupille au centre de courbure, le système à la symétrie de révolution autour de tout axe passant par le centre, donc pas d'astigmatisme ni de coma, ni de distorsion. Il subsiste de la courbure de champ.

3) $dy' = C_M \dfrac{y'^2}{2} \cdot \alpha'_{max}$ avec $y' = f'\theta$ et $C_M = \dfrac{2}{R} = \dfrac{1}{f'}\ (<0)$

$dy' = \dfrac{1}{2} f' \theta^2 \alpha'_{max} = -25\ \mu m > R_{Airy}$

4) Une lentille de Smyth placée près du plan focal permet de corriger la courbure de champ. La courbure de champ qu'elle introduit doit compenser celle du système : $C_L + C_M = 0$

donc $C_L = -\dfrac{1}{f'}$

$-\dfrac{1}{N f'_L} = -\dfrac{1}{f'} \rightarrow f'_L = \dfrac{f'}{N} < 0$

Une lentille divergente d'indice $N = 1{,}5$ et de focale $f'_L = -666$ mm convient.

5) $\boxed{a = -\dfrac{f'}{8}(1+\varepsilon)}$

$\boxed{b = \dfrac{1}{4}}$ (pupille sur le miroir)

6) $\dfrac{b}{2} = \dfrac{1}{4} + a\left(\dfrac{1}{\overline{F'P'_2}} - \dfrac{1}{\overline{F'S}}\right)$ avec $\overline{F'P'_2} = \dfrac{f'^2}{\overline{FP_2}} = \dfrac{f'^2}{z_p - f'}$

pupille décalée de z_p par rapport au miroir.

$b_2 = \dfrac{1}{4} - \dfrac{f'}{8}(1+\varepsilon)\left(\dfrac{z_p - f'}{f'^2} + \dfrac{1}{f'}\right)$

$$\boxed{b_2 = \frac{1}{4} - \frac{1}{8f'}(1+\varepsilon)\, z_p}$$

$\rightarrow$ b_2 varie de manière affine avec la position de la pupille.

7) $\delta z = z_p - 2f'$ $\Rightarrow$ $\boxed{b = \dfrac{1}{4} - \dfrac{1+\varepsilon}{8f'}(\delta z + 2f')}$

8) $b = 0 \iff 1 + \varepsilon = \dfrac{2f'}{\delta z + 2f'}$

soit $\boxed{\varepsilon = \dfrac{-\delta z / 2f'}{\dfrac{\delta z}{2f'} + 1}}$

$\delta z = -10$ mm $\rightarrow$ $\varepsilon = -5 \cdot 10^{-3}$ (légèrement elliptique)