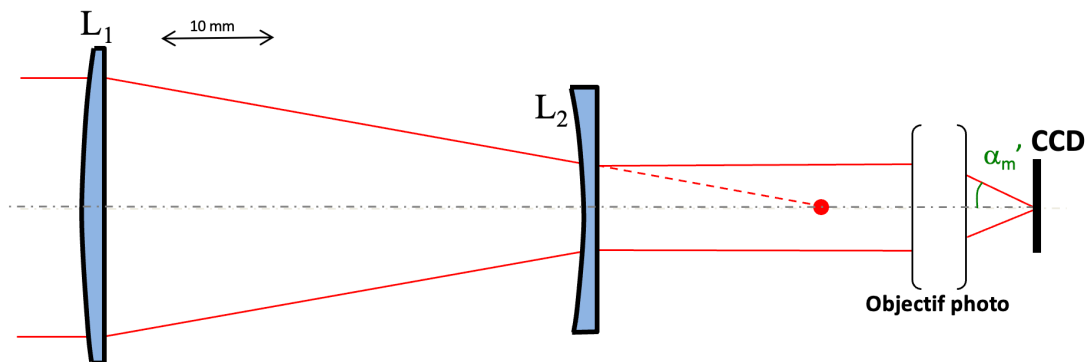


Correction des aberrations sur l'axe d'une lunette

Deux lentilles L_1 et L_2 constituent une lunette afocale. Cette lunette précède un objectif photographique corrigé des aberrations pour une mise au point à l'infini, de focale $F' = 50 \text{ mm}$, ouvert à $F/3$.

- L_1 est une lentille convergente plan-convexe, de distance focale $f'_1 = 60 \text{ mm}$, et de diamètre $\varnothing_1 = 25 \text{ mm}$. Elle est orientée face bombée vers l'objet à l'infini.
- L_2 est une lentille divergente plan-concave, de distance focale $f'_2 = -24 \text{ mm}$, de diamètre $\varnothing_2 = 12 \text{ mm}$. Elle orientée face plane vers l'objectif photo.

Les deux lentilles sont réalisées dans un même verre, le BK7 ($n = 1,5167$ à $\lambda = 588 \text{ nm}$) La taille des pixels de la caméra CCD située au foyer de l'objectif photo est de $15 \mu\text{m}$ de côté.



A. Mise en place géométrique – questions de préparation

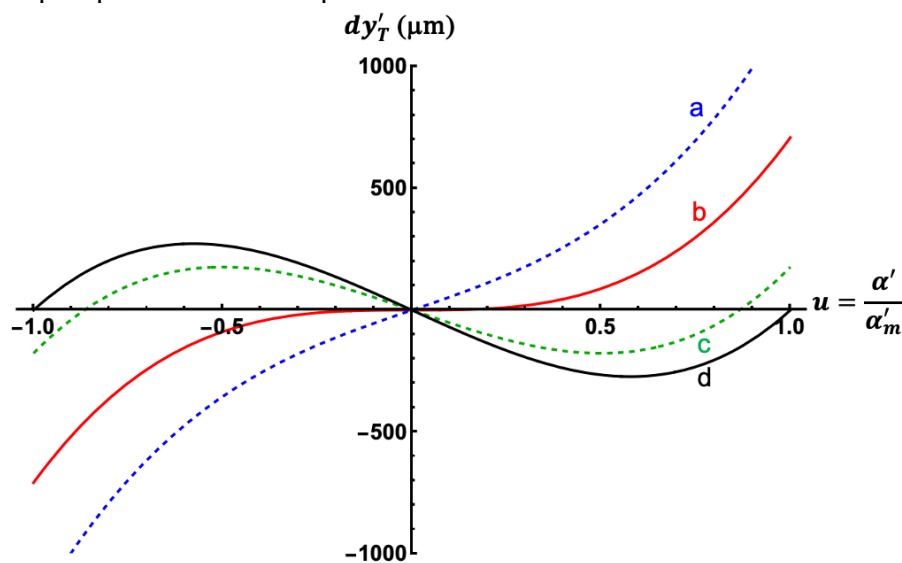
1. Quelle est l'optique qui limite l'ouverture de cette lunette ? Déterminez le diamètre des pupilles d'entrée et de sortie de cette lunette.
2. Déduisez-en l'ouverture numérique $\sin \alpha'_m$ dans l'espace du récepteur.
3. Quels sont la forme et la dimension de la réponse percussionnelle en limite de diffraction ? Comparez à la dimension des pixels du capteur.

B. Aberration sphérique du 3^{ème} ordre

Nous nous intéressons ici uniquement à l'aberration sphérique du 3^{ème} ordre de ce dispositif, évaluée en monochromatique à $\lambda = 588 \text{ nm}$.

1. Justifiez qu'il est possible d'évaluer l'aberration sphérique globale du dispositif à partir des contributions de chaque élément considéré séparément.
2. À partir des expressions données en annexe, déterminez pour chaque lentille étudiée séparément :
 - la forme de la surface d'onde aberrante et le signe de l'écart normal aberrant ;
 - la contribution à l'écart normal d'aberration sphérique du 3^{ème} ordre. Précisez son signe et l'amplitude maximale au bord de la pupille.
3. Déduisez-en l'amplitude de l'écart normal de l'aberration sphérique du 3^{ème} ordre en bord de pupille de la lunette dans son ensemble. *Vous pouvez utiliser les valeurs approchées de $k(n)$ données en annexe.*
4. Justifiez qu'une description purement géométrique des aberrations de ce dispositif suffise pour donner une évaluation de la forme et de la dimension de la tache-image dans le plan du capteur.

5. Montrez que l'écart normal aberrant derrière l'objectif s'écrit simplement sous la forme $\Delta(u) = \Delta_{max} u^4$, avec $u = \alpha' / \alpha'_m$ la hauteur d'impact dans la pupille normalisée.
6. En utilisant les relations de Nijboer, donnez la forme et le diamètre de la tache de diffusion pour une mise au point paraxiale. Cette aberration est-elle gênante pour l'application envisagée ?
7. Expliquez graphiquement, à partir d'un tracé de rayons, l'existence d'un plan de mise au point dans lequel la tache-image est minimale (foyer de moindre diffusion). Quel devient la tache de diffusion dans ce cas ? Est-elle toujours gênante ?
8. La figure ci-dessous reproduit des courbes d'aberrations transverses $dy_T(u)$ du système complet à $\lambda = 588 \text{ nm}$, pour différents plans de mise au point.
 - Rappelez ce que représentent ces courbes.
 - Quelle est celle qui correspond à une mise au point paraxiale ? à une mise au point au foyer de moindre diffusion ? Expliquez l'allure des courbes.
 - Ces courbes sont-elles en accord avec vos évaluations précédentes.
 - À quoi pourraient correspondre les deux autres courbes ?



9. Vérifiez qu'un choix correct de l'indice du verre de L_2 permettrait de compenser l'aberration sphérique du système. Quel autre avantage pourrait présenter ce changement de verre ?
10. Discutez du sens d'utilisation de chacune des lentilles de la lunette : cela vous semble-t-il judicieux ? D'autres agencements de lentille seraient-ils possibles ? Détaillez votre réponse.

Éléments de réponse (applications numériques)

- A. 2. $\sin \alpha'_m = 0,10$
3. $\varnothing_{Airy} \cong 7 \mu\text{m}$
- B. 2. $\Delta'_{1max} = +31 \mu\text{m}$; $\Delta'_{2max} = -49 \mu\text{m}$
6. $\varnothing = 1,4 \text{ mm}$ au foyer paraxial
7. $\varnothing = 350 \mu\text{m}$ au foyer de moindre diffusion
9. $n_2 = 1,7413$ (SF10)

Annexes

On donne les expressions de l'écart normal aberrant d'une lentille plan-sphérique, pour l'aberration sphérique du 3^{ème} ordre et une mise au point paraxiale, en fonction de l'indice de la lentille et de la focale de la lentille f :

$$\Delta(h) = \frac{(n^3 - 2n^2 + 2)}{2n(n-1)^2} \times \frac{h^4}{4f'^3}$$

face sphérique vers l'_{∞}

$$\Delta(h) = \frac{n^2}{2(n-1)^2} \times \frac{h^4}{4f'^3}$$

face plane vers l'_{∞}

Notez que f' dépend également de l'indice n : $f' = \pm R/(n-1)$.

L'évolution du coefficient $k(n)$ caractéristique de l'aberration sphérique du 3^{ème} ordre est tracée sur la courbe suivante en fonction de l'indice de la lentille :

