

Doublet achromatique

Dans ce TD, on considère comment la combinaison de deux lentilles bien choisies permet de diminuer considérablement l'aberration chromatique.

1. Aberration chromatique d'une lentille simple

- (a) On admet que la distance focale d'une lentille varie proportionnellement à $\frac{1}{n-1}$ où n est l'indice du verre qui la compose. Si on prend une référence à la longueur d'onde $\lambda_D = 589 \text{ nm}$, et si on note f'_D la distance focale à cette longueur d'onde, alors la distance focale f' à la longueur d'onde λ vaut

$$f'(\lambda) = f'_D \frac{n(\lambda_D) - 1}{n(\lambda) - 1} \quad (1)$$

Écrivez une fonction `fprime(fpD,nD,n)` qui calcule cette distance focale, où `n` représente $n(\lambda)$ et `nD` représente $n(\lambda_D)$.

- (b) L'indice d'un verre est donné par la relation de Cauchy :

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} \quad (2)$$

avec λ en nm et A et B deux constantes qui dépendent du type de verre. Pour un verre Crown, $A = 1,46$ et $B = 5200 \text{ nm}^{-2}$; pour un verre Flint, $A = 1,62$ et $B = 18\,000 \text{ nm}^{-2}$.

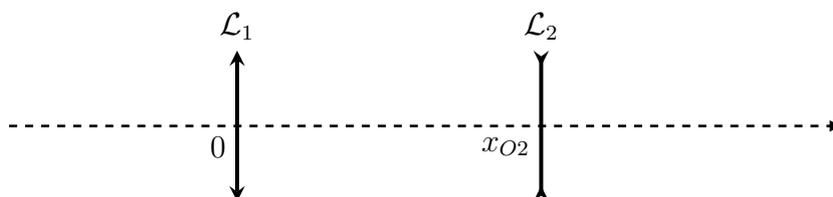
Écrivez deux fonctions `nC(lam)` et `nF(lam)` qui renvoient les indices optiques de ces deux verres à la longueur d'onde `lam` en nm.

- (c) On considère une lentille convergente de distance focale $f'_D = 11 \text{ cm}$ (à λ_D), taillée dans du verre Crown.
- Générez un tableau de longueurs d'ondes couvrant tout le visible (en nm) ; ne l'appellez pas `lambda`, ce terme est réservé par Python ; appelez-le plutôt `tab_lambda` ou `tab_l`.
 - Calculez le tableau des indices du verre Crown pour ces longueurs d'onde, puis le tableau des distances focales de la lentille.
 - Tracez la distance focale en fonction de la longueur d'onde. Mesurez l'écart entre la valeur maximale et la valeur minimale ; commentez.

2. Doublet achromatique

Pour diminuer l'aberration chromatique, on remplace cette lentille par un doublet constitué :

- d'une lentille convergente de focale $f'_{1D} = 6 \text{ cm}$ (à λ_D), taillée dans du verre Crown, placée en $x_{O_1} = 0 \text{ cm}$
- d'une lentille divergente de focale $f'_{2D} = -12 \text{ cm}$ (à λ_D), taillée dans du verre Flint, placée en $x_{O_2} = 0,5 \text{ cm}$



- (a) À partir du tableau des longueurs d'ondes, calculez les tableaux des indices des verres Crown et Flint, et les tableaux des distances focales des deux lentilles aux longueurs d'ondes correspondantes.
- (b) Pour trouver la position du foyer image de ce doublet, on va partir d'un objet à l'infini :

$$\infty \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A_2$$

Où se trouve le point A_1 ? Construisez le tableau `tab_x1` des positions correspondantes.

(c) On sait par la loi de conjugaison de Descartes que $\frac{1}{\overline{O_2A_2}} = \frac{1}{f'_2} + \frac{1}{\overline{O_2A_1}}$. Si on note x_1 l'abscisse de A_1 , x_{O_2} l'abscisse de la lentille et x_2 l'abscisse de l'image, alors on peut écrire que $\overline{O_2A_1} = x_1 - x_{O_2}$ et $\overline{O_2A_2} = x_2 - x_{O_2}$; la relation de Descartes devient alors $\frac{1}{x_2 - x_{O_2}} = \frac{1}{f'_2} + \frac{1}{x_1 - x_{O_2}}$. Après quelques calculs (admis), on en déduit que

$$x_2 = x_{O_2} + \frac{(x_1 - x_{O_2}) \cdot f'_2}{x_1 - x_{O_2} + f'_2} \quad (3)$$

Calculez alors le tableau `tab_x2` des positions de A_2 . Que représente ce point pour le doublet ?

(d) Tracez la position de A_2 en fonction de la longueur d'onde ; commentez.

3. Oculaire de Ramsden

Avant l'invention du doublet achromatique, Ramsden avait proposé un oculaire qui réduisait légèrement l'aberration chromatique. Il peut être utilisé avec différentes valeurs de focales, mais pour cet étude on prendra la configuration suivante :

- une lentille convergente de focale $f'_{1D} = 12$ cm (à λ_D), taillée dans du verre Crown, placée en $y_1 = 0$ cm
- une lentille convergente de focale $f'_{2D} = 12$ cm (à λ_D), taillée dans du verre Crown, placée en $y_1 = 8$ cm

Étudiez de la même manière la position du foyer image de ce doublet.