*Les calculatrices* ***sont autorisées.***

* * *

NB : Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction.
Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

* * *

# Partie A : OPTIQUE

Ce problème d'optique comprend deux parties indépendantes : focométrie et lunette astronomique achromatique.
La première partie concerne la mesure, par différentes méthodes, des distances focales de lentilles minces convergentes et divergentes. La seconde partie consiste à rechercher les conditions pour limiter l'aberration chromatique, c'est-à-dire les défauts de formation des images dus à la dispersion des verres des objectif et oculaire d'une lunette astronomique.

Les quatre figures de la partie « Optique » sont en page 6.
On considérera que les lentilles minces de ce problème sont utilisées dans le cadre de l'approximation de Gauss.

## 1. FOCOMETRIE

L'axe ($x'x$) d'un banc d'optique est orienté dans le sens de parcours de la lumière. On notera $O_1$ et $O_2$ les centres de deux lentilles $(L_1)$ convergente et $(L_2)$ divergente, A et A′ les points sur l'axe optique d'un objet lumineux transverse AB et de son image A′B′ par l'instrument.

### 1.1. Lentille convergente : $(L_1)$ de centre $O_1$ et de distance focale $f_1'$

On exprimera $f_1'$ et $\Delta f_1'$ à 0,1 cm près.

#### 1.1.1. Méthode d'autocollimation

**1.1.1.1.** Décrire la méthode expérimentale dite « d'autocollimation » qui permet de mesurer la distance focale d'une lentille mince convergente.

Y.C

**1.1.1.2.** Quand l'image A′B′ de l'objet AB est obtenue par cette méthode, la distance mesurée objet-lentille est de 20,2 cm. Les incertitudes absolues de lecture sur l'axe et de mise au point de l'image étant au total évaluées à 0,5 cm, exprimer la distance focale $f_1'$ de $(L_1)$ et son incertitude absolue $\Delta f_1'$.

### 1.1.2. Formule de conjugaison de Descartes

L'objet réel AB placé à 35 cm de la lentille $(L_1)$ donne une image nette A′B′ de cet objet sur un écran (E) situé à 46,5 cm de la lentille.

**1.1.2.1.** Déterminer la distance focale $f_1'$ de cette lentille.

**1.1.2.2.** Sachant que les incertitudes absolues sur les distances objet-lentille (incertitude de lecture) et lentille-écran (incertitudes de lecture et de netteté de l'image) sont respectivement évaluées à 0,4 cm et 0,8 cm, calculer l'incertitude absolue $\Delta f_1'$.

### 1.1.3. Méthode de Bessel

Un objet AB et un écran (E) sont fixes et distants de $D$. Entre l'objet et l'écran, on déplace la lentille $(L_1)$ pour obtenir sur (E) une image nette A′B′.

**1.1.3.1.** On pose $p = \overline{O_1A}$. Montrer que si $D > D_{min}$, valeur minimale que l'on exprimera en fonction de $f_1'$, alors il existe deux positions distinctes $p_1$ et $p_2$ (avec $|p_1| < |p_2|$) de $(L_1)$ pour lesquelles une image nette se forme sur l'écran. Donner les expressions de $p_1$ et $p_2$ en fonction de $D$ et $f_1'$.

**1.1.3.2.** Si $d$ représente la distance entre les deux positions de la lentille $(L_1)$ quand $D > D_{min}$, montrer que la distance focale $f_1'$ s'exprime en fonction de $D$ et $d$.

**1.1.3.3.** Déterminer l'incertitude absolue $\Delta f_1'$ de l'expression de $f_1'$ sachant que les incertitudes absolues de $D$ et $d$ sont respectivement notées par $\Delta D$ et $\Delta d$.

**1.1.3.4.** Calculer la distance focale $f_1'$ de $(L_1)$ et son incertitude absolue $\Delta f_1'$ sachant que $D = (90 \pm 1)$ cm et $d = (30 \pm 1)$ cm.

### 1.1.4. Méthode de Silbermann

L'objet AB étant fixe, sa position sera prise comme origine sur l'axe optique. On cherche les positions de la lentille $(L_1)$ et de l'écran (E) telles que le grandissement transversal $\gamma = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -1$. La distance objet-écran est alors $D_0 \pm \Delta D_0$.

**1.1.4.1.** Utiliser la relation de conjugaison de Descartes et l'expression du grandissement pour obtenir $f_1'$ en fonction de $D_0$.

**1.1.4.2.** On mesure $D_0$ = 80,4 cm avec une incertitude absolue de 0,5 cm comprenant la lecture et la mise au point de l'image pour ce grandissement. En déduire la distance focale $f_1'$ de $(L_1)$ et son incertitude absolue $\Delta f_1'$.

**1.1.4.3.** La méthode de Silbermann peut-elle se déduire de la méthode de Bessel ? Justifier votre réponse.

### 1.1.5. Comparaison des méthodes

Parmi ces quatre méthodes quelle est celle qui vous semble la plus rapide à mettre en œuvre pour obtenir l'ordre de grandeur de $f_1'$ et celle qui vous permet la meilleure précision ?

Y.C

### 1.2. Lentille divergente : $(L_2)$ de centre $O_2$ et de distance focale $f_2'$

On exprimera $f_2'$ à 0,1 cm près.

#### 1.2.1. Théorème des vergences (formule des opticiens)

Pour déterminer la distance focale d'une lentille mince divergente $(L_2)$, on accole celle-ci à une lentille mince convergente $(L_0)$ de vergence $V_0 = 8\ m^{-1}$ et on utilise ce système mince $[(L_0)+(L_2)]$ pour obtenir d'un objet réel AB, une image réelle A′B′, renversée, de même dimension que l'objet. La distance objet-image mesurée est égale à 1 m.

**1.2.1.1.** Déterminer la vergence $V$ du système de lentilles accolées.

**1.2.1.2.** En déduire la vergence $V_2$ et la distance focale $f_2'$ de la lentille $(L_2)$ sachant que pour l'association $[(L_0)+(L_2)]$ nous avons : $V = V_0 + V_2$.

**1.2.1.3.** Les centres optiques des lentilles dites « accolées » sont en fait distants de $e = 0{,}5$ cm. Evaluer à nouveau $V_2$ et $f_2'$ à partir de cette formule de Gullstrand qui prend en compte la distance entre les centres optiques : $V = V_0 + V_2 - e\, V_0\, V_2$.

#### 1.2.2. Viseur à frontale fixe

Un viseur à frontale fixe est utilisé pour déterminer la distance focale $f_2'$ de la lentille $(L_2)$. On vise d'abord l'objet AB, on insère $(L_2)$ entre l'objet et le viseur à une distance $x$ de AB et enfin on doit reculer d'une distance $D$ pour viser l'image A′B′.

**1.2.2.1**. À partir de la relation de conjugaison de Descartes, montrer que la distance focale $f_2'$ s'exprime en fonction des distances $x$ et $D$.

**1.2.2.2.** Sachant que $x = 30$ cm et $D = 16{,}5$ cm, calculer $f_2'$.

#### 1.2.3. Méthode de Badal

La méthode de Badal se déroule en deux étapes :

***1ère étape*** : une lentille convergente $(L)$ donne d'un objet ponctuel A situé au foyer objet F de cette lentille, une image rejetée à l'infini. Une seconde lentille convergente $(L_0)$ de distance focale connue $f_0'$ est disposée à la suite de $(L)$ à une distance supérieure à $f_0'$. L'image finale ponctuelle A′ se trouve sur un écran (E) situé au foyer image $F_0'$ de $(L_0)$.

***2ème étape*** : la lentille divergente $(L_2)$, de distance focale $f_2'$ inconnue, est positionnée dans le plan focal objet de $(L_0)$. Pour obtenir la nouvelle image nette A′, il faut éloigner (E), de $(L_0)$, d'une distance $D$.

**1.2.3.1.** En appliquant la relation de conjugaison de Newton à la lentille $(L_0)$, déterminer la relation donnant l'expression de la distance focale $f_2'$ en fonction des distances $f_0'$ et $D$.

**1.2.3.2**. Pour les distances $f_0' = 12{,}5$ cm et $D = 6{,}5$ cm, calculer $f_2'$.

Y.C