

Examen partiel d'optique instrumentale

durée 3h

formulaire A4 recto-verso manuscrit et calculatrice autorisés

Le sujet présente trois pages et deux annexes.

Les annexes, en mentionnant vos nom-prénom, sont à rendre avec votre copie.

On considère une lunette afocale avec les données suivantes :

- Un objectif de focale 150 mm et de diamètre 20 mm assimilé à une lentille mince de centre O. C'est le diaphragme d'ouverture de la lunette.
- Un oculaire de focale 30 mm. C'est un système composé de deux lentilles minces L_1 et L_2 non accolées, de focales et de diamètres équivalents. Les focales de ces deux lentilles et leur séparation sont dépendantes d'un paramètre inconnu a positif.

Les paramètres sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	Focale	Diamètre	Centres et Foyers
Objectif (DO)	$f'_o = 150 \text{ mm}$	$\phi_o = 20 \text{ mm}$	O, F, F'
Oculaire	$f'_R = 30 \text{ mm}$	-	H, H', F_{oc}, F'_{oc}
Oculaire - L_1	$f'_1 = 3 \times a$	$\phi_1 = 16 \text{ mm}$	O_1, F_1, F'_1
Oculaire - L_2	$f'_2 = 3 \times a$	$\phi_2 = 16 \text{ mm}$	O_2, F_2, F'_2

- La distance entre L_1 et L_2 vaut $\overline{O_1 O_2} = a$.

L'indice optique vaut l'unité dans tous les espaces. Les conditions de Gauss s'appliquent. Jusqu'à la question 16, on supposera que l'œil de l'observateur est emmétrope et n'accommode pas (il regarde à l'infini).

1. Rappeler la définition d'un système afocal et faire un schéma de principe de la lunette (sans respecter d'échelle) en faisant apparaître :
 - Les éléments cardinaux de l'objectif et de l'oculaire qui sera représenté par deux plans principaux (vous ne faites pas apparaître les lentilles L_1 et L_2).
 - Au moins deux rayons provenant d'un objet à l'infini sur l'axe.

2. Déterminer $\overline{OF_{oc}}$ la distance entre l'objectif et le foyer objet de l'oculaire. Justifier votre réponse.
3. Exprimer le grossissement G de la lunette en fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire. Faire l'application numérique (amplitude et signe).
4. Déterminer la taille et la position de la pupille d'entrée.
5. Déterminer la taille de la pupille de sortie et sa position par rapport au foyer image de l'oculaire $\overline{F'_{oc}P_S}$.
6. Sur l'annexe n°1 est représenté l'oculaire à l'échelle du paramètre a . Tracer un rayon entrant parallèle à l'axe qui traverse l'oculaire et déterminer la position du foyer image F'_{oc} . Positionner le plan principal H' et en déduire une valeur approchée du paramètre a .
7. En utilisant la formule de Gullstrand, vérifier votre estimation du paramètre a qui fixe les focales de L_1 et L_2 ainsi que leur séparation.

Formule de Gullstrand (association de deux lentilles non accolées) $\frac{1}{f'} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} - \frac{\overline{O_1O_2}}{f'_1 \times f'_2}$

8. Écrire les conjugaisons à travers les lentilles L_1 et L_2 d'un point objet situé au foyer objet de l'oculaire F_{oc} . Montrer que $\overline{O_1F_{oc}} = -20 \text{ mm}$.

En raison de la symétrie de l'oculaire, on a $\overline{O_1F_{oc}} = -\overline{O_2F'_{oc}}$.

9. Sur l'annexe n°2 (échelle longitudinale $\times 1$ - échelle transversale $\times 5$), l'objectif est placé mais sa taille est arbitraire. Positionner les lentilles L_1 et L_2 , les plans principaux de l'oculaire, la pupille d'entrée, puis positionner la pupille de sortie à l'aide d'une construction géométrique. *Vos traits de crayons seront minimalistes mais suffisamment compréhensibles pour le correcteur. Prenez le temps de confronter vos valeurs obtenues par le tracé et vos valeurs calculées.*
10. Sur l'annexe n°2, tracer deux rayons, provenant d'une source ponctuelle à l'infini sur l'axe, qui s'appuient sur les deux bords de la pupille d'entrée et traversant toute la lunette.

11. Sur l'annexe n°2, tracer deux rayons, provenant d'un objet ponctuel à l'infini en bord du champ de pleine lumière, s'appuyant sur les deux bords de la pupille d'entrée, et traversant toute la lunette.

12. Mesurer à la règle le diamètre du champ de pleine lumière dans l'espace intermédiaire situé entre l'objectif et L_1 et en déduire par le calcul ses valeurs dans les espaces objet et image de la lunette.

13. Pourquoi observe-t-on un champ de contour ? Comment le supprimer sans changer le champ de pleine lumière ?

14. Où doit-on positionner l'œil pour profiter pleinement du champ de l'instrument ? Justifiez votre réponse.

On suppose que l'instrument est limité par la diffraction à une longueur d'onde de 500 nm et que l'œil de l'observateur possède une résolution objet de 2 minutes d'arc.

15. Déterminer la résolution au sens du critère de Rayleigh dans le plan focal de l'objectif. En déduire la résolution optique associée dans l'espace image de la lunette.

16. Comparer cette résolution image à celle de l'œil et en déduire la résolution effective dans le plan objet de la lunette. Vous donnerez le résultat en seconde d'arc.

On considère maintenant que l'œil est myope et qu'au repos il regarde à 250 mm devant lui (point A'') au lieu de l'infini. On suppose que l'œil est positionné sur le plan focale image de l'oculaire et que la lunette est toujours réglée pour un œil emmétrope (situation précédente). On a donc $\overline{F'_{oc}A''} = -250 \text{ mm}$.

17. Déterminer la position du point objet conjugué de A'' (point A') vu par l'œil à travers l'oculaire (déterminer cette position par rapport à F_{oc}). Faites un schéma explicatif.

18. A partir de la question précédente, déterminer à quelle distance de l'objectif l'œil myope fait-il sa mise au point à travers la lunette. De combien devez-vous déplacer l'oculaire pour permettre à l'œil de viser à l'infini avec la lunette (ce déplacement s'appelle le réglage dioptrique) ?

CORRECTION

1. Définition système afocale = foyers et H à l'infini. Conjugaison infini-infini

Schéma de principe avec rayons

2. Afocal : $F'_{obj}=F_{oc}$ soit $\overline{OF'_{oc}} = f'_{obj} = +150 \text{ mm}$

3. $G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\theta' y}{y \theta} = -\frac{f'_{obj}}{f'_{oc}} = -5$

4. L'objectif est DO donc c'est également la pupille d'entrée

5. $\overline{F'_{oc}P_S} \times \overline{F'_{oc}P_S} = -f'^2_{oc} \rightarrow \overline{F'_{oc}P_S} = +6 \text{ mm} \quad \phi_{P_S} = \frac{\phi_{PE}}{G} = 4 \text{ mm}$

6. Schéma annexe → on mesure $\overline{H'F'_{oc}} \cong 5,5 \text{ mm}$ (qui correspond à 30 mm) et $a \cong 3,1 \text{ mm}$
ce qui correspond à $a = \frac{3,1}{5,5} \times 30 \text{ mm} \approx 16,9 \text{ mm}$

7. $\frac{1}{f'_{oc}} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} - \frac{\overline{O_1O_2}}{f'_1 \times f'_2} = \frac{1}{3a} + \frac{1}{3a} - \frac{a}{3a \times 3a} = \frac{5}{9a} \rightarrow a = 16,7 \text{ mm}$

8. Les conjugaisons à travers les lentilles de l'oculaire sont $F_{oc} \xrightarrow{L1} F_2 \xrightarrow{L2} \infty$

$$\frac{1}{0_1F_2} - \frac{1}{0_1F_{oc}} = \frac{1}{f'_1} \rightarrow \frac{1}{0_1O_2+0_2F_2} - \frac{1}{0_1F_{oc}} = \frac{1}{f'_1} \rightarrow \frac{1}{a-3a} - \frac{1}{0_1F_{oc}} = \frac{1}{f'_1} \rightarrow \overline{0_1F_{oc}} = -\frac{6a}{5} = -20 \text{ mm}$$

9. Schéma annexe 2 : pupille de sortie (mesure à la règle $\phi_{P_S} \sim 4 \text{ mm}$)

10. Schéma annexe 2 : tracé sur l'axe (2 rayons)

11. Schéma annexe 2 : tracé en bord de CPL (2 rayons)

12. $\phi_{CPL_{Int}} \sim 11,4 \text{ mm} \rightarrow \theta_{CPL} = \frac{\phi_{CPL_{Int}}}{f'_{Obj}} = \frac{11,4}{150} = 4,3^\circ \rightarrow \theta'_{CPL} = G \times \theta_{CPL} = 21,7^\circ$

13. Champ total supérieur au CPL. Mettre un diaphragme en Foc de diamètre égale au diamètre du CPL intermédiaire, soit 11,4 mm

14. Œil = PS pour que l'œil ne limite pas le champ

15. Objectif=PE donc en F_{oc} $\phi_{airy} = 2,44\lambda N = 2,44\lambda \frac{f'_{obj}}{\phi_{obj}} = 9,15 \mu\text{m}$

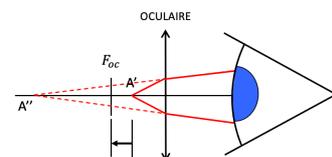
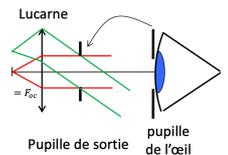
La résolution dans l'espace image est : $\delta\theta' = \frac{\phi_{airy}/2}{f'_{oc}} = \frac{1,22\lambda G}{\phi_{obj}} \sim \frac{\lambda}{\phi_{PS}} = 31''$

16. $\delta\theta' < \delta\theta_{oeil} = 120'' \rightarrow \delta\theta_{effective} = \frac{\delta\theta_{oeil}}{G} = 24''$

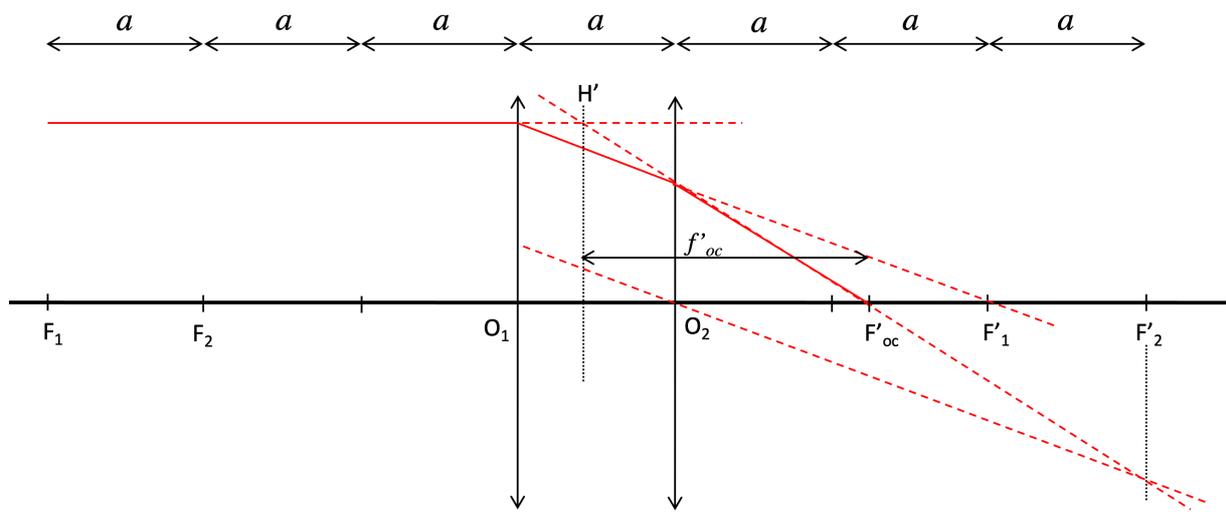
17. $A' \xrightarrow{oculaire} A'' \rightarrow \overline{F_{oc}A'} \times \overline{F'_{oc}A''} = -f'^2_{oc} \rightarrow \overline{F_{oc}A'} = +3,6 \text{ mm}$

18. $A \xrightarrow{objectif} A' \rightarrow \overline{F_{obj}A} \times \overline{F'_{obj}A'} = -f'^2_{obj} \rightarrow \overline{F_{obj}A} = -6,25 \text{ m} \rightarrow \overline{OA} = -6,4 \text{ m}$

Il faut déplacer l'oculaire de -3,6 mm (éloigner de l'œil) pour mettre A' en Foc



Question 9



Questions 10 et 11

