

Examen partiel d'optique instrumentale

durée 3h

formulaire A4 recto-verso manuscrit et calculatrice autorisés

Le sujet présente deux pages et deux annexes.

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

On considère une lunette afocale. La lunette est constituée d'un objectif faisant l'image d'un objet à l'infini, d'une lentille de redressement qui inverse l'image fournie par l'objectif et d'un oculaire qui fournit une image à l'infini à un œil sans défaut et qui n'accommode pas. Toutes les lentilles sont considérées comme minces. Les données du problème sont les suivantes,

	Focale	Ouverture	Particularité
Objectif	$f'_O = 150 \text{ mm}$	$\phi_O = 25 \text{ mm}$ ($N = 6$)	c'est le diaphragme d'ouverture
Lentille de redressement	$f'_R = 45 \text{ mm}$	$N = 2,25$	$g_y = -1$
Oculaire	$f'_{OC} = 30 \text{ mm}$	$N = 2$	

1. Faites un schéma de principe de la lunette (sans respecter d'échelle) et écrire les conjugaisons à travers toute la lunette pour un objet situé à l'infini.
2. Déterminer une expression de son grossissement faisant intervenir les distances focales pertinentes. Faire l'application numérique.
3. Montrer que la distance entre l'objectif et l'oculaire vaut $\overline{O_O O_C} = 360 \text{ mm}$.
4. Déterminer la position et la taille de la pupille d'entrée. Justifier votre réponse.
5. Déterminer les résolutions transversales dans l'espace objet compte tenu de la diffraction (la longueur d'onde est $\lambda = 500 \text{ nm}$) et de l'acuité visuelle (vous prendrez $2'$ d'angle comme résolution d'entrée de l'œil). Commentez vos résultats.

Les deux annexes, fournies pour les tracés de rayons, présentent une échelle $\times 1/2$ le long de l'axe et $\times 4$ en transversal. Seul le plan contenant l'objectif est représenté.

6. Sur l'annexe n°1, placer les éléments et fixer leur taille respective. 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.
7. Calculer la position et la taille de la pupille située dans l'espace intermédiaire entre la lentille de redressement et l'oculaire, et vérifier vos calculs en la positionnant sur le schéma de l'annexe n°1.
8. Calculer la position et la taille de la pupille de sortie de la lunette et vérifier vos calculs en la positionnant sur le schéma de l'annexe n°1.
9. 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 tout l'objectif.
10. Mesurer à la règle le champ de pleine lumière dans un des espaces intermédiaires et en déduire par le calcul ses valeurs dans les espaces objet et image.
11. Pourquoi observe-t-on un champ de contour ?

Pour augmenter le champ de pleine lumière, on ajoute une lentille, appelée lentille de champ, placée dans le plan focal image de l'objectif. De plus, on impose que l'image de l'objectif par cette lentille de champ soit située dans le plan de la lentille de redressement. L'objectif est toujours la pupille d'entrée.

12. Sur l'annexe n°2, placer la lentille de champ, la lentille de redressement et l'oculaire et 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.
13. Montrer que la focale de la lentille de champ vaut $f'_c \approx 56,3 \text{ mm}$.
14. Déterminer par le calcul les nouvelles positions et les diamètres de la pupille intermédiaire et de la pupille de sortie. Positionner les graphiquement sur l'annexe n°2 et vérifier vos calculs.
15. 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 tout l'objectif.
16. Mesurer à la règle le nouveau champ de pleine lumière dans un des espaces intermédiaires et en déduire par le calcul sa valeur dans l'espace objet. Commentez vos résultats.
17. Déterminer le diamètre de la lentille de champ pour supprimer le champ de contour.

CORRECTION

1. Schéma de principe avec rayons

$$\infty \xrightarrow{\text{objectif}} F'_{\text{objectif}} \xrightarrow{\text{redresseur}} F_{OC} \xrightarrow{\text{oculaire}} \infty$$

$$\theta \xrightarrow{\text{objectif}} y \xrightarrow{\text{redresseur } g=-1(4f')} y' \xrightarrow{\text{oculaire}} \theta'$$

2. $G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\theta' y' y}{y' y \theta} = -1 \times -\frac{f'_{\text{obj}}}{f'_{\text{oc}}} = +5$

3. $d_{\text{obj-oc}} = f'_{\text{obj}} + 4f'_R + f'_{\text{oc}} = 360 \text{ mm}$

4. Pupille d'entrée = objectif car c'est le diaph d'ouverture

5. $\delta\theta_{\text{diffraction}} = 1,22 \frac{\lambda}{\phi_{PE}} = \frac{0,5\mu\text{m}}{25 \text{ mm}} = 24 \mu\text{rad} = 5''$

$$\delta\theta_{\text{oeil_objet}} = \frac{\delta\theta_{\text{oeil_objet}}}{G} = \frac{2'}{5} = 24'' (116 \mu\text{rad})$$

Conclusion : L'œil limite la résolution.

6. Annexe 1 : positionnement des éléments et tracés sur l'axe (hors pupille)

7. Calcul pupille intermédiaire et positionnement sur le schéma

$$\overline{F_R P_E} \times \overline{F'_R P_I} = -f'^2_R \rightarrow \overline{F'_R P_I} = +10,4 \text{ mm} \quad \phi_{PI} = \phi_{PE} \frac{\overline{O_R P_I}}{\overline{O_R P_E}} = 25 \times \frac{45+10,4}{150+90} = 5,8 \text{ mm}$$

8. Calcul pupille de sortie et positionnement sur annexe 1

$$\overline{F'_{OC} P_S} = +26 \text{ mm} \quad \overline{F'_{OC} P_S} = +26 \text{ mm} \quad \phi_{PS} = \frac{\phi_{PE}}{G} = 5 \text{ mm}$$

9. Annexe 1 : Tracé en bord de CPL

10. $\phi_{CPL_I} \approx 3 \text{ mm} \rightarrow \theta_{CPL} = \frac{\phi_{CPL_I}}{f'_{f'o}} = \frac{3}{150} = 20 \text{ mrad} = 1,1^\circ \rightarrow \theta'_{CPL} = G \times \theta_{CPL} = 100 \text{ mrad} = 5,1^\circ$

11. Le champ de contour (ou champ vignetté) est la portion de champ compris entre le bord de champ de pleine lumière et le bord de champ total. Dans le système, on peut voir facilement que des rayons provenant de cette portion de champ traverse tout le système optique. Il sera donc visible par l'œil.

12. Annexe 2 : Positionnement des éléments et tracé sur l'axe

13. Objectif $\xrightarrow{\text{lentille de champ}}$ lentille de redressement

$$\frac{1}{2f'_R} - \frac{1}{-f'_O} = \frac{1}{f'_C} \rightarrow f'_C \approx 56 \text{ mm}$$

14. La pupille intermédiaire est sur L_R , donc $\phi_{PI} = \phi_{PE} \frac{2f'_R}{f'_{f'o}} = 15 \text{ mm}$

$$\overline{F'_{OC} P_S} = +10 \text{ mm} \quad \phi_{PS} = \frac{\phi_{PE}}{G} = 5 \text{ mm} + \text{tracé pupille annexe 2}$$

15. Annexe 2 : Tracé en bord de CPL

16. $\theta_{CPL} = \frac{\phi_{CPL_I}}{f'_{f'o}} = \frac{7,5}{150} = 50 \text{ mrad} = 2,9^\circ$. Le CPL est augmenté d'un bon facteur deux

17. Il faut que la lentille de champ ait un diamètre égale au CPL intermédiaire, soit 7,5 mm

×1/2 le long de l'axe

×4 en transversal

