Cycle Ingénieur 1A – octobre 2026

Examen 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.

Étude d'une lunette terrestre

Dans ce problème, les conditions paraxiales s'appliquent. L'indice optique vaut l'unité dans tous les espaces. Les lentilles sont considérées comme minces.

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. Les données du problème sont les suivantes,

	Focale	**Ouverture**	**Particularité**
Objectif	$f'_{OB} = \overline{O_{OB}F'_{OB}} = 150\ mm$	$\phi_{OB} = 25\ mm$ ($N_{OB} = 6$)	diaphragme d'ouverture
Lentille de redressement	$f'_{R} = \overline{O_{R}F'_{R}} = 45\ mm$	$N_R = 2{,}25$	$g_y = -1$
Oculaire	$f'_{OC} = \overline{O_{OC}F'_{OC}} = 30\ mm$	$N_{OC} = 2$	

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 $\overline{O_{OB}O_{OC}} = 360\ mm$.
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 $\lambda = 500\,nm$) et de l'acuité visuelle (vous prendrez 2' (deux minutes d'angle) comme résolution angulaire d'entrée de l'œil). Commentez vos résultats.

Les deux annexes, fournies pour les tracés de rayons, présentent une échelle ×1/2 le long de l'axe et ×4 en transversal. Seul le centre de l'objectif est positionné.

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 par un tracé sur l'annexe n°1.
   Vos traits de crayon pour les tracés de pupilles seront minimalistes mais suffisamment compréhensibles pour la correction.
9. Sur l'annexe n°1, 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 du vignettage (champ de contour) ?

Pour augmenter le champ de pleine lumière, on ajoute une 4ème lentille, appelée lentille de champ ($f'_C = \overline{O_C F'_C}$) placée dans le plan focal image de l'objectif (sa taille n'est pas fixée). 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 le diaphragme d'ouverture.

12. Sur l'annexe n°2, placer l'objectif, 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 $f'_C \approx 56{,}3\ mm$.
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 vignettage.

On souhaite visualiser l'image directement avec un capteur. Pour cela, on retire l'oculaire et on place directement le capteur dans le plan image de la lentille de redressement (la position de ce plan est appelée A_{ci}). Le capteur est une matrice pixelisée de dimension standard 3,2 mm × 2,4 mm et le nombre de pixels est 640 par 480.

18. Le capteur permet-il de visualiser tout le champ de pleine lumière ? Justifiez votre réponse.

On souhaite obtenir un diamètre de champ de pleine lumière égal à la diagonale du capteur. Pour cela, on ajoute une lentille relais de focale $f'_{\mathrm{L}} = \overline{O_{\mathrm{L}}F'_{\mathrm{L}}} = 25\,mm$. Cette lentille donnera donc de l'image initiale (dont la position est A_{CI}) une nouvelle image (dont la position est appelée A_{CF}). On déplacera le capteur dans le plan contenant A_{CF}.

19. Quel est doit être le grandissement g_L de la conjugaison par la lentille relais ? En déduire les distances $\overline{O_L A_{CI}}$ et $\overline{O_L A_{CF}}$.

20. Déterminer la distance focale de tout l'instrument (objectif + lentille de champ + lentille de redressement + lentille relais). Faire l'application numérique.

CORRECTION

1. Schéma de principe avec rayons

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

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

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

3. $\overline{O_{OB}O_{OC}} = f'_{ob} + 4f'_R + f'_{oc} = 360\ mm$

4. Pupille d'entrée = objectif car c'est le diaphragme d'ouverture (donnée du problème)

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

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

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

8. Calcul pupille de sortie et positionnement sur annexe 1

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

9. Annexe 1 : Tracé en bord de CPL

10. $\phi_{CPL_I} \approx 3\ mm \longrightarrow \theta_{CPL} = \frac{\phi_{CPL_I}}{f'_{Ob}} = \frac{3}{150} = 20\ mrad = 1{,}1° \longrightarrow \theta'_{CPL} = G \times \theta'_{CPL} = 100\ mrad = 5{,}1°$

11. Le champ de contour (vignettage) est la portion de champ compris entre le bord de champ de pleine lumière et le bord de champ total. On peut voir facilement que des rayons provenant de cette portion de champ traverse tout le S.O. Il sera donc visible par l'œil.

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

13. $Objectif \xrightarrow{lentille\ de\ champ} lentille\ de\ redressement\ ;\ \frac{1}{2f'_R} - \frac{1}{-f'_{ob}} = \frac{1}{f'_C} \rightarrow f'_C \approx 56\ mm$

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

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

15. Annexe 2 : Tracé en bord de CPL

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

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

18. Non car $\phi_{CPL} = 7{,}5mm > 4\ mm = diagonale\ capteur$

19. $g_L = -\frac{\phi_{CPL}}{diag\ capteur} = -\frac{7{,}5}{4} = -0{,}533$

    $\rightarrow \overline{O_L A_{CF}} = (1 - g_L) \times f'_L = 38{,}3\ mm \rightarrow \overline{O_L A_{CI}} = \frac{\overline{O_L A_{CF}}}{g_L} = -71{,}9mm$

20. $f'_{TOTAL} = f'_{ob} \times g_L = -150 * 0{,}533 \approx -80\ mm$

×1/2 le long de l'axe ; ×4 en transversal



