

Examen partiel d'optique instrumentale

durée 3h

formulaire A4 recto-verso manuscrit et calculatrice autorisés

Le sujet présente trois pages et une annexe.

L'annexe, en mentionnant vos nom-prénom, est à rendre avec votre copie.

Étude d'un appareil photographique réflex

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

Nous vous proposons d'étudier les deux voies principales d'un appareil photographique de type réflex : la voie « prise de vue » et la voie « visée oculaire ».

La figure ci-dessous décrit le principe de l'appareil photographique. La lumière issue d'un objet entre par l'objectif (1) et rencontre un miroir (2) qui redirige l'image sur un verre de visée (3) (généralement muni d'un système permettant d'affiner la mise au point et de fenêtres de cadrage). Puis un prisme en toit (4) (appelé pentaprisme) redresse l'image de façon qu'elle soit vue à l'endroit par l'œil du photographe à travers un oculaire (5). Lors de la prise de vue (on appuie sur le bouton), le miroir (2) se relève (le clic de l'appareil). La lumière vient alors frapper le capteur d'image (6). Le miroir reprend ensuite sa place quasi-instantanément (le clac de l'appareil).

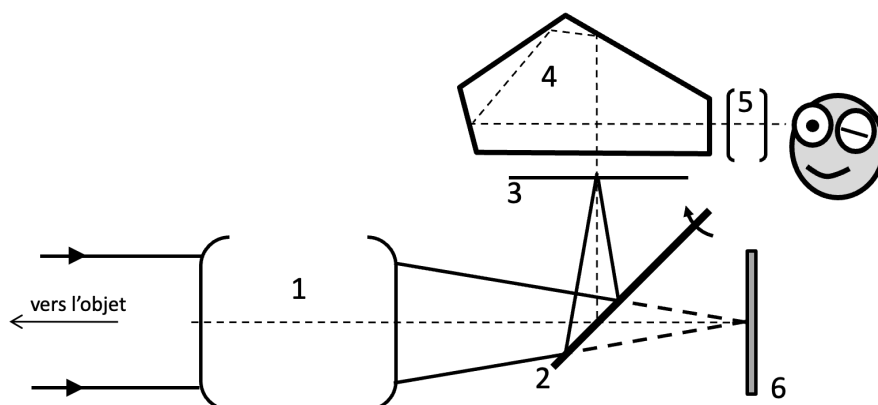


Figure : schéma de principe de l'appareil

Le miroir (2) est relevé pour effectuer la prise de vue. L'objectif est réglé pour observer un objet à l'infini. On appelle F' le foyer image de l'objectif complet. Sa distance focale image vaut $f'_{OBJ} = +30 \text{ mm}$. Il est constitué des éléments suivants :

- d'une lentille **divergente** L_1 de centre O_1 et de focale $f'_1 = \overline{O_1 F'_1} = -50 \text{ mm}$
- d'une lentille **convergente** L_2 de centre O_2 et de focale $f'_2 = \overline{O_2 F'_2} = +100 \text{ mm}$
- d'une lentille **convergente** L_3 de centre O_3 et de focale $f'_3 = \overline{O_3 F'_3} = +60 \text{ mm}$

La distance entre L_1 et L_2 est $\overline{O_1 O_2} = +50 \text{ mm}$

La distance entre L_2 et L_3 est $\overline{O_2 O_3} = +70 \text{ mm}$

Les 3 lentilles ont un diamètre équivalent qui vaut $\phi_L = 30 \text{ mm}$.

- d'un diaphragme D situé entre L_2 et L_3 tel que $\overline{O_2 D} = +40 \text{ mm}$. Son diamètre est $\phi_D = 20 \text{ mm}$. C'est le **diaphragme d'ouverture** (pupille du système).

1. Faire un schéma de principe (sans être à l'échelle) en positionnant les lentilles (ne pas tenir compte des diamètres), leurs foyers et le diaphragme. Tracer au moins deux rayons provenant d'un point objet à l'infini sur l'axe qui traversent l'objectif.
2. Écrire les conjugaisons à travers tout l'objectif et donner une expression de la distance focale totale f' faisant intervenir les distances focales des trois lentilles. Faire l'application numérique et vérifier que $f'_{OBJ} = +30 \text{ mm}$.
3. Quelle est la taille de l'image d'un objet placé à l'infini vu sous un diamètre angulaire de 10° .
4. Calculer les positions et les diamètres de la pupille intermédiaire et de la pupille d'entrée de l'objectif.
5. Vérifier votre calcul du diamètre de la pupille d'entrée en utilisant directement le grandissement du sous-système afocal constitué de L_1 et L_2 .
6. Calculer la position et le diamètre de la pupille de sortie.
7. Sur la feuille fournie en annexe (échelle longitudinale $\times 1$; échelle transversale $\times 4$), le foyer image F'_1 de la lentille L_1 est déjà placé. Positionner les trois lentilles et le diaphragme. A l'aide de constructions géométriques, positionner la pupille intermédiaire, la pupille d'entrée et la pupille de sortie.

Vos traits de crayon pour les tracés de pupilles seront minimalistes mais suffisamment compréhensibles pour la correction. Prenez le temps de confronter vos valeurs obtenues par le tracé et vos valeurs calculées précédemment.

8. Sur l'annexe, tracer deux rayons provenant d'un objet ponctuel placé à l'infini sur l'axe et traversant l'objectif dans sa totalité en s'appuyant sur les deux bords de la pupille d'entrée.

9. Sur l'annexe, positionner le plan principal image H' et le foyer image F' de l'objectif. Vérifier que la distance focale image de l'objectif est bien de 30 mm aux imprécisions du tracé près.

Le capteur d'image est un détecteur carré de 10 mm de côté et constitué de pixels carré de côté 5 μm .

10. Calculer le nombre d'ouverture de l'objectif et déterminer quel est, entre l'objectif et le capteur, l'élément limitant la résolution de l'image (on prendra une longueur d'onde $\lambda = 500 \text{ nm}$) ? Déterminer la résolution dans l'espace objet. Faire l'application numérique.

La lucarne du champ de pleine lumière est la lentille L_2 .

11. Sur l'annexe, tracer deux rayons qui s'appuient sur les deux bords de la pupille d'entrée pour un point objet à l'infini sur l'un des bords du champ de pleine lumière et qui traversent l'ensemble de l'objectif.
12. Sur l'annexe, mesurer à la règle le diamètre du champ de pleine lumière dans l'espace image. Le vignettage est-il visible dans l'image captée ? Justifier votre réponse.
13. Déterminer la valeur du champ observé dans l'espace objet.

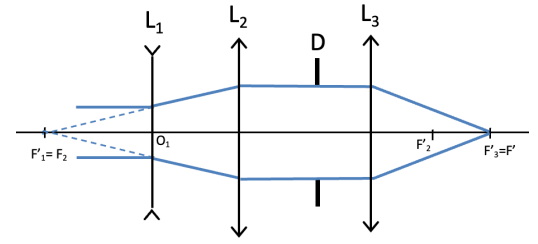
Lorsque le miroir (2) est abaissé, l'objectif photographique forme l'image de l'objet sur le verre de visée (3). L'oculaire (5) forme une image pour un œil emmétrope qui accommode à l'infini. L'oculaire est représenté par deux plans principaux (H_{oc}, H'_{oc}) et ses foyers (F_{oc}, F'_{oc}). L'interstice vaut $\overline{H_{oc}H'_{oc}} = -10 \text{ mm}$.

14. A quel système optique est équivalent l'association {objectif + oculaire} ?
15. Déterminer la distance focale de l'oculaire nécessaire pour obtenir, après l'oculaire, une pupille de sortie d'un diamètre de 4 mm.
16. Sur l'annexe, positionner les plans principaux et les foyers de l'oculaire et poursuivre vos tracés de rayons (point sur l'axe et point au bord du champ de pleine lumière).
17. Que se passe-t-il si la pupille de l'œil n'est pas positionnée sur la pupille de sortie du système {objectif + oculaire} ? Justifier votre réponse.

On souhaite doubler la distance focale de l'objectif en ajoutant une lentille divergente de centre O_4 dans le plan contenant F'_2 .

18. Déterminer de combien se déplace le nouveau plan focal (F'') par rapport à sa position nominale (F'). En déduire la distance focale de la lentille divergente.

CORRECTION



1. schéma de principe **1 pt**

$$2. \quad \infty \xrightarrow{L1} F'_1 = F_2 \xrightarrow{L2} \infty \xrightarrow{L3} F'_3 = F'$$

$$\theta \xrightarrow{L1} y' = f'_1 \theta \xrightarrow{L2} \theta' = -y'/f'_2 \xrightarrow{L3} y'' = f'_3 \theta' = f' \theta \rightarrow f' = \frac{-f'_1 f'_3}{f'_2} = +30 \text{ mm} \quad \mathbf{1 \text{ pt}}$$

$$3. \quad y' = f' \times 10^\circ \times \frac{\pi}{180} = 5,23 \text{ mm} \quad \mathbf{1 \text{ pt}}$$

$$4. \quad P_{INT} \xrightarrow{L2} D : \frac{1}{O_2 D} - \frac{1}{O_2 P_{INT}} = \frac{1}{f'_2} \rightarrow \overline{O_2 P_{INT}} = 66,7 \text{ mm} \text{ et } \phi_{INT} = \phi_D \frac{\overline{O_2 P_{INT}}}{\overline{O_2 D}} = 33,4 \text{ mm} \quad \mathbf{1 \text{ pt}}$$

$$P_E \xrightarrow{L1} P_{INT} : \frac{1}{O_1 P_{INT}} - \frac{1}{O_1 P_E} = \frac{1}{f'_1} \rightarrow \overline{O_1 P_E} = 35 \text{ mm} \text{ et } \phi_{PE} = 33,4 \frac{35}{50+66,7} = 10 \text{ mm} \quad \mathbf{1 \text{ pt}}$$

$$5. \quad \{L1 + L2\} \text{ est afocal donc } g_y(P_E \xrightarrow{L1+L2} D) = \frac{f'_{12}}{f'_1} = 2 = \frac{\phi_D}{\phi_{PE}} \rightarrow \phi_{PE} = \frac{20 \text{ mm}}{2} = 10 \text{ mm} \quad \mathbf{1 \text{ pt}}$$

$$6. \quad D \xrightarrow{L3} P_S \text{ soit } \frac{1}{O_3 P_S} - \frac{1}{O_3 D} = \frac{1}{f'_3} \rightarrow \overline{O_3 P_S} = -60 \text{ mm} \text{ et } \phi_{PS} = \phi_D \frac{\overline{O_3 P_S}}{\overline{O_3 D}} = 40 \text{ mm} \quad \mathbf{1 \text{ pt}}$$

7. **Annexe** : schéma pupille **1 pt**

8. **Annexe** : schéma point à l'infini sur l'axe **1 pt**

9. **Annexe** : position H' ... on vérifie que H'F' = + 30 mm **1 pt**

$$10. \quad N = \frac{f'}{\phi_{PE}} = 3 ; \phi_{diff} = 2,44 \lambda N = 3,6 \mu\text{m} < \text{pixel} \text{ soit } \delta\theta \sim \frac{\text{pixel}}{f'} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ rad} = 34,4'' \quad \mathbf{1 \text{ pt}}$$

11. **Annexe** : schéma point à l'infini au bord de CPL **2 pts**

12. On mesure $\phi'_{CPL} = 15 \text{ mm}$ soit $> 10 \text{ mm} \times \sqrt{2} = 14,4 \text{ mm} \rightarrow \text{pas de vignettage visible} \quad \mathbf{1 \text{ pt}}$

$$13. \rightarrow \theta_{CPL} = \frac{14,4 \text{ mm}}{f'} = 0,48 \text{ rad} = 27,5^\circ \quad \mathbf{1 \text{ pt}}$$

14. C'est un système afocal **1 pt**

$$15. \quad \phi_{PS} = \phi_{PE} \times g_y = \frac{\phi_{PE}}{G} = \phi_{PE} \frac{f'_{oc}}{f'_{obj}} = 4 \text{ mm} \rightarrow f'_{oc} = 12 \text{ mm} \quad \mathbf{1 \text{ pt}}$$

16. **Annexe** : schéma oculaire **1 pt**

17. L'œil va devenir lucarne de champ et limité l'accès au CPL de l'objectif. **1 pt**

18. La lentille est positionnée sur H' donc pour doubler la focale il faut que $\overline{H'F''} = 2 \times \overline{H'F'}$. On a la conjugaison $F' \xrightarrow{L4} F''$ soit $\frac{1}{O_4 F''} - \frac{1}{O_4 F'} = \frac{1}{60} - \frac{1}{30} = \frac{1}{f'_4} \rightarrow f'_4 = -60 \text{ mm} \quad \mathbf{1 \text{ pt}}$

