

## Examen d'optique instrumentale

durée 3h

aucun document autorisé (formulaire fourni)

calculatrice autorisée

Le sujet présente trois feuilles, un formulaire et deux annexes.  
Les annexes, en mentionnant vos nom&prénom, sont à rendre avec votre copie.

### Etude d'un appareil photographique réflex

Nous vous proposons d'étudier les deux voies principales d'un appareil photographique de type réflex : la voie "prise de vue" (partie A) et la voie "visée oculaire" (partie B).

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). Une lentille convergente (4) est accolée à ce verre de visée. Puis un prisme en toit (5) (appelé parfois pentaprisme) redresse l'image de façon qu'elle soit vue à l'endroit par l'œil du photographe à travers un oculaire (6). 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 (7). Le miroir reprend ensuite sa place instantanément (le clac de l'appareil).

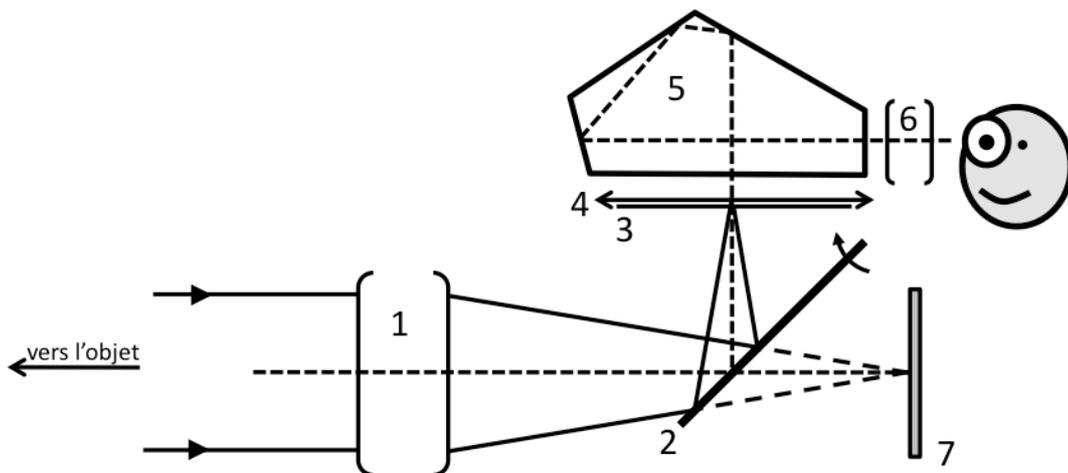


Figure : schéma de principe de l'appareil

## A. Voie "prise de vue"

Le miroir (2) est relevé pour effectuer la prise de vue.

L'objectif a une focale fixe de 30 mm. Il est constitué :

- d'une lentille mince **divergente**  $L_1$  de focale -50 mm
- d'une lentille mince **convergente**  $L_2$  de focale +80 mm
- d'une lentille **convergente**  $L_3$  de focale +57 mm.

La distance entre  $L_1$  et  $L_2$  est 50 mm et la distance entre  $L_2$  et  $L_3$  est de 72 mm.

- d'un diaphragme situé à 40 mm après  $L_2$ , et son diamètre est de 8 mm. C'est le diaphragme d'ouverture.

Les éléments optiques de l'objectif photographique sont disposés sur les feuilles fournies en annexe. Leur diamètre est arbitraire. L'échelle est  $\times 10$  pour l'axe transversal (c'est à dire que 1 mm en vrai correspond à 10 mm sur la feuille) et  $\times 1$  le long de l'axe.

**Vous veillerez à être le plus soigneux possible dans vos tracés de rayons !**

1. L'objet est placé à l'infini. Où se trouve l'image ? Quelle est sa taille pour un objet vu sous un diamètre angulaire de  $10^\circ$ .
2. Sur l'annexe 1, à l'aide de tracés de rayons, positionner la pupille d'entrée et vérifier sur votre tracé que son diamètre est environ de 4,4 mm.
3. A l'aide de tracés de rayons, positionner la pupille de sortie de l'objectif.
4. Vérifier par le calcul la position et le diamètre de la pupille de sortie de l'objectif.
5. Sur l'annexe 2, positionner les pupilles trouvées précédemment et 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.
6. Sur l'annexe 2, positionner le plan principal image  $H'$  et le plan focal image  $F'$  de l'objectif. En justifiant votre réponse, vérifiez que la focale de l'objectif est bien de 30 mm dans la limite de précision du tracé.
7. Déterminer le nombre d'ouverture de l'objectif.

Le capteur d'image est un capteur CMOS de diagonale 5 mm et constitué de pixels de taille  $10 \mu\text{m}$ .

8. Quel est, entre l'objectif et le capteur numérique, l'élément limitant la résolution de l'image (on prendra une longueur d'onde de  $0,5 \mu\text{m}$ ) ? Que faudrait-il faire sur le système optique pour que ce soit l'autre élément qui limite ?
9. Calculer la résolution angulaire dans l'espace objet et en déduire sa valeur en mm dans un plan situé à 10 mètres de l'objectif.

On impose que le diamètre de champ de pleine lumière image soit égal à la diagonale du capteur CMOS.

10. En déduire le rayon du champ de pleine lumière dans l'espace image.
11. Calculer le rayon angulaire dans l'espace objet et donner sa valeur en mm dans un plan situé à 10 mètres de l'objectif.
12. Sur l'annexe 2, 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.
13. Déterminer graphiquement les diamètres des trois lentilles pour obtenir le champ de pleine lumière.
14. Peut-on voir du champ de contour dans l'image captée ? Justifiez votre réponse.
15. Montrer qu'un objet placé à 20 mètres de l'objectif, dont la mise au point est à l'infini, est toujours considéré comme net sur le capteur.

## **B. Voie "visée oculaire"**

Lorsque le miroir (2) est abaissé, l'objectif photographique forme l'image de l'objet sur le verre de visée (3). On considère que la lentille (4) accolée au verre de visée n'est pas présente. L'oculaire (6) est une lentille mince convergente et on suppose que l'œil est emmétrope et accommode à l'infini.

16. Dans le cas où l'objet est à l'infini, à quel système optique est équivalent l'association objectif + oculaire ?
17. Déterminer la focale de l'oculaire nécessaire pour obtenir un grossissement de 0,8 pour l'association objectif + oculaire.
18. Que se passe-t-il si la pupille de l'œil n'est pas positionnée sur la pupille de sortie du système objectif + oculaire. Illustrer votre réponse par un schéma explicatif.

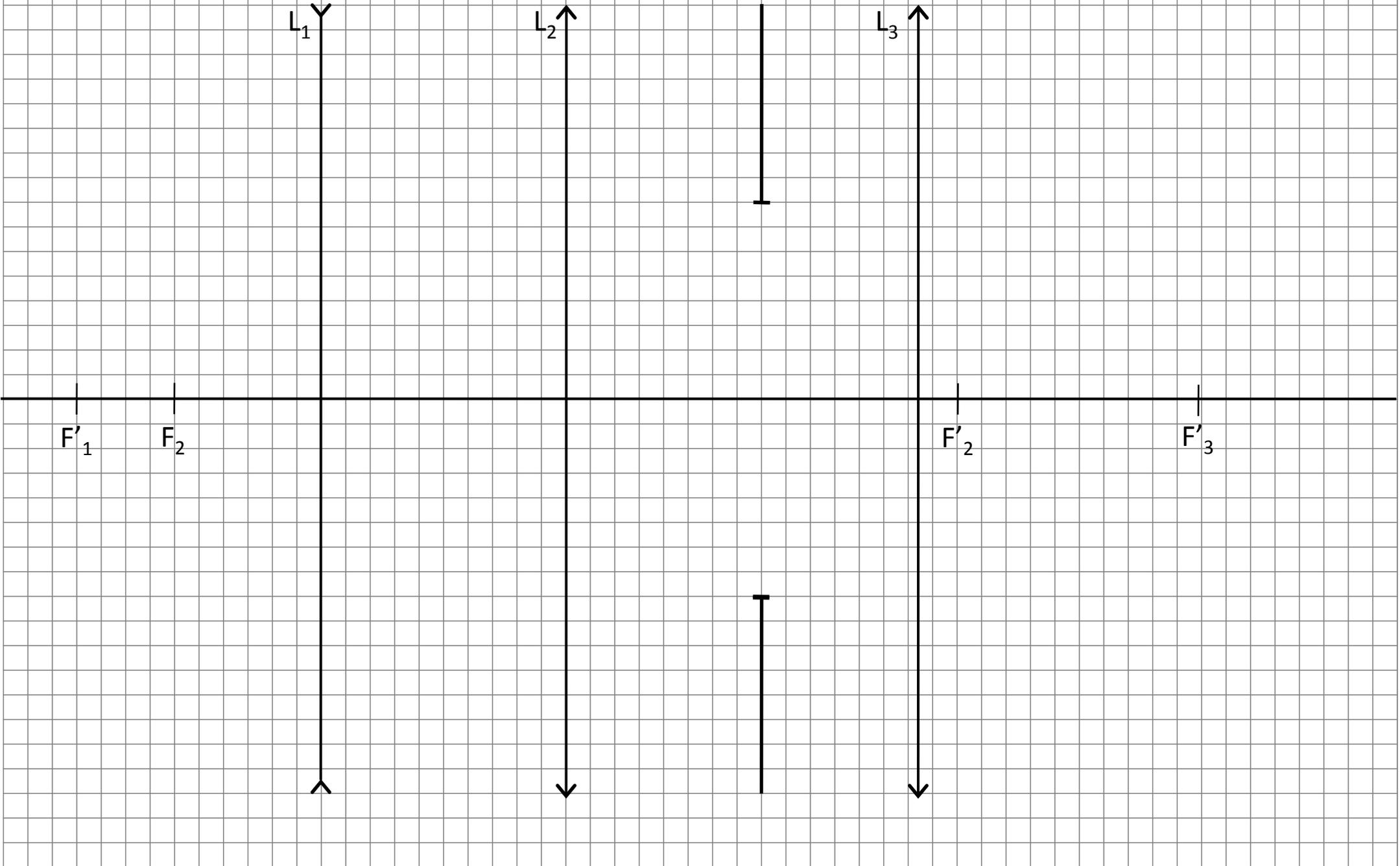
Au lieu de regarder à l'infini, l'œil accommode à 1 mètre devant lui (on dit qu'il présente une myopie de 1 dioptrie). L'image perçue à travers l'appareil sera donc floue. On suppose que l'œil est placé au foyer image de l'oculaire.

19. Dans quel sens et de combien doit-on déplacer l'oculaire pour retrouver une image nette ?

On considère maintenant que la lentille (4) accolée au verre de visée est présente.

20. Quelle est son utilité ? Illustrer votre réponse par un schéma explicatif.

ANNEXE n°2  
Nom Prénom



**CORRECTION EXAMEN**  
**OPTIQUE INSTRUMENTALE**  
**novembre 2017**

1. image en F' de taille  $y' = f' \times \theta = 30\text{mm} \times 10\pi / 180 = 5,3\text{mm}$

2. schéma annexe 1

3. schéma annexe 1

4. Ps = image de D par L3.

$$\frac{1}{\overline{O_3 P_s}} - \frac{1}{\overline{O_3 D}} = \frac{1}{f'_3} \rightarrow \overline{O_3 P_s} = -73 \rightarrow \Phi_{P_s} = \Phi_D \times \frac{\overline{O_3 P_s}}{\overline{O_3 D}} = 8 \times \frac{73}{32} = 18,3\text{mm}$$

5. schéma annexe 2

6. schéma annexe 2

7. 
$$N = \frac{f'}{\Phi_{PE}} = \frac{30}{4,4} = 6,8$$

8.  $2,44\lambda N = 8,3 \mu\text{m} \rightarrow R_{optique} = 4,15\mu\text{m} < pixel = 10\mu\text{m}$  Le capteur est limitant. Pour que ce soit l'optique il faudrait fermer le système pour que la tache de diffraction augmente.

9. 
$$R_{image} = pixel = 10\mu\text{m} \rightarrow \delta\theta_{objet} = \frac{pixel}{f'} = 0,33\text{mrad} \rightarrow R_{10m} = \delta\theta_{objet} \times 10m = 3,3\text{mm}$$

10. 
$$\Phi_{image}^{CPL} = 5\text{mm} \rightarrow r_{image}^{CPL} = 2,5\text{mm}$$

11. 
$$\theta_{objet}^{CPL} = \frac{r_{image}^{CPL}}{f'} = 83,3\text{mrad} \rightarrow r_{10m}^{CPL} = \theta_{objet}^{CPL} \times 10m = 83\text{cm}$$

12. schéma annexe 2

$$\Phi_{L1} \approx 10,2 \text{ mm}$$

13. 
$$\Phi_{L2} \approx 13,4 \text{ mm}$$

$$\Phi_{L3} \approx 11,6 \text{ mm}$$

14. non. Le capteur est la lucarne de champ de pleine lumière. Le champ de contour est au delà du capteur.

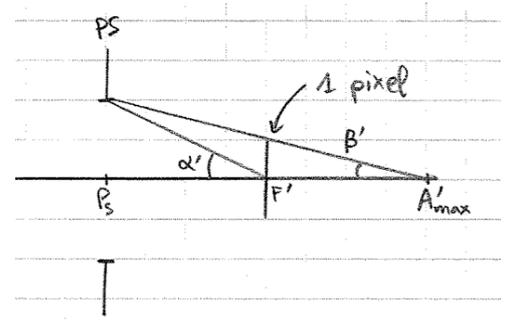
15. Il faut calculer la distance hyperfocale

Dans l'espace image  $2\alpha_{image} = \frac{1}{N} \approx \frac{y_{pixel}}{F'A'_{max}}$

La distance hyperfocale H est obtenue par

$$H \times \overline{F'A'_{max}} = -f'^2 \text{ soit } H \approx \frac{f'^2}{N \times y_{pixel}} = \frac{30^2}{6,8 \times 0,01} \text{ mm} \approx 13\text{m}$$

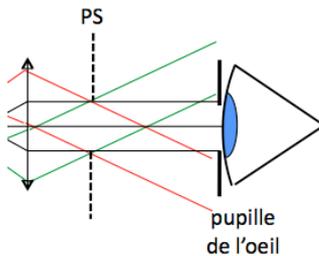
Tous les objets placés entre 12m et l'infini seront vus net à l'image.



16. C'est un système afocal.

17.  $G = \frac{f_{objectif}}{f_{oculaire}} = 0,8 \rightarrow f_{oculaire} = 37,5\text{mm}$

18. L'oeil lucarne le champ.



19.  $\overline{F'_{oc}A'} \times \overline{F_{oc}A} = -f'^2_{oc} \rightarrow \overline{F_{oc}A} = \frac{-37,5^2}{-1000} = 1,4\text{mm}$  Il faut donc approcher l'oculaire de 1,4mm de l'objectif pour refaire la mise au point.

20. C'est une lentille de champ. Elle ne modifie pas l'imagerie mais permet d'éviter que le prisme lucarne le champ.

