

# OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

*Soignez la présentation et la rédaction, qui doit être complète et concise. Tout résultat doit être justifié, et mis en valeur. Les résultats littéraux doivent être homogènes. Les résultats numériques doivent avoir un nombre de chiffres significatifs vraisemblable. Les schémas doivent être clairs, suffisamment grands et lisibles. Si vous n'arrivez pas à montrer un résultat, admettez-le clairement et poursuivez.*

## CALCULATRICES AUTORISÉES

Un appareil photo est constitué d'un ensemble de lentilles dont le but est de former l'image réelle d'un objet sur un *capteur*, c'est-à-dire un détecteur sensible aux radiations lumineuses : un film argentique ou des barrettes CCD. Cet ensemble est associé à un boîtier qui joue le rôle de chambre noire et qui contient un obturateur, un système optique de visée et de mise au point ainsi qu'une cellule photoélectrique qui permet de mesurer le flux lumineux incident. La figure 1, ci-dessous, représente les principaux éléments d'un appareil photo de type réflex, avec un miroir pivotant (a), un verre de visée (b), une lentille collectrice (c), un pentaprisme en toit (d) ainsi qu'un oculaire (e).

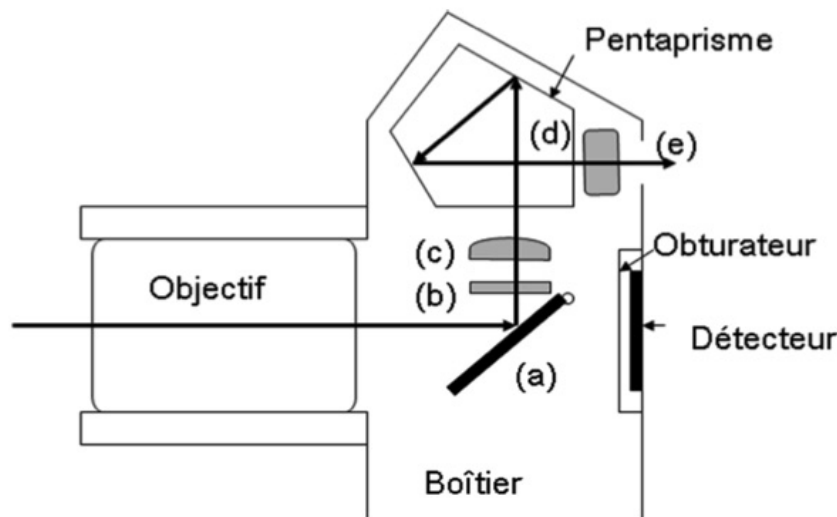


FIGURE 1 – Appareil photographique

### Préambule

Le système optique qui constitue l'objectif doit restituer la forme et les couleurs de l'objet, ceci dans des conditions où les rayons lumineux incidents ne vérifient pas nécessairement les conditions dites de Gauss. Il doit donc pouvoir corriger les aberrations chromatiques et géométriques. On utilise pour cela un ensemble de lentille pour former l'objectif.

Un objectif est décrit par sa « focale ». **Elle représente la distance entre la pellicule (ou la matrice CCD) et la lentille simple équivalente à l'objectif pour un sujet à l'infini, c'est-à-dire à grande distance.** Les usages veulent que l'on qualifie de longue (respectivement courte) focale, un objectif dont la focale est plus grande (respectivement plus petite) que la longueur de la diagonale du capteur utilisé (pellicule ou matrice CCD). Ceci implique que le choix de la focale est indissociable de celui du format du capteur.

## I. Objectif assimilé à une simple lentille mince

Le but de cette partie est d'obtenir une interprétation simple de la « focale » équivalente à un objectif en terme de *champ angulaire*, ainsi qu'une définition de la notion de *tirage*. On modélise l'objectif par une simple lentille mince  $\mathcal{L}_{eq}$  de focale image  $f'_{eq}$ . Le capteur est un rectangle de taille  $\ell \times L$ . Pour les applications numériques, on prendra  $f'_{eq} = 50 \text{ mm}$ ;  $\ell = 24 \text{ mm}$ ;  $L = 36 \text{ mm}$ .

L'appareil est d'abord réglé sur un objet à l'infini.

1. Exprimer la diagonale  $d$  de la pellicule en fonction de  $\ell$  et  $L$ . Calculer  $d$ .
2. Réaliser un schéma de l'objectif visant un objet à l'infini  $\overline{A_\infty B_\infty}$  et construire son image  $\overline{A'B'}$  sur le capteur.
3. On note  $\alpha$  l'angle sous lequel est vu l'objet à l'infini. Exprimer la relation entre la taille de l'image  $\overline{A'B'}$  sur le capteur,  $\alpha$  et  $f'_{eq}$ .
4. En déduire le champ de l'objectif en fonction de  $f'_{eq}$ ,  $\ell$  et  $L$ , c'est-à-dire l'angle maximal  $2 \times \alpha_{max}$  sous lequel peut être vu un objet à l'infini entièrement sur la diagonale de la pellicule. Faire l'application numérique (en radian puis en degrés).

L'appareil étant initialement réglé sur un objet placé à l'infini, on vise alors un objet situé à une distance finie  $x = \overline{AO}$  de l'objectif. On constate alors que pour en former une image nette sur le capteur, il faut déplacer l'objectif d'une certaine distance  $t$ , appelée *tirage*. Cette opération constitue la *mise-au-point*.

5. Dans quel sens doit-on déplacer l'objectif? On pourra répondre par un schéma.
6. Calculer  $t$  en fonction de  $x$  et  $f'_{eq}$ .
7. Calculer la plage de variation de ce tirage pour un objet placé entre l'infini et  $x = 100f'_{eq}$ . Est-il nécessaire de faire la mise-au-point dans ce cas?
8. Même question pour un objet situé entre  $x = 100f'_{eq}$  et  $x = 10f'_{eq}$ .

## II. Objectif bifocal

Considérons trois lentilles minces  $\mathcal{L}_2, \mathcal{L}_3$  et  $\mathcal{L}_4$ , de centres  $O_2, O_3$  et  $O_4$ , placées suivant un même axe optique.  $\mathcal{L}_2$  et  $\mathcal{L}_4$  sont identiques et divergentes, de distance focale  $|f'_2| = |f'_4| = 60$  mm, tandis que  $\mathcal{L}_3$  est convergente avec  $|f'_3| = 35$  mm.

On a  $\overline{O_2O_4} > 0$ . La lentille  $\mathcal{L}_3$  est susceptible de se déplacer entre les lentilles  $\mathcal{L}_2$  et  $\mathcal{L}_4$ . On se propose d'étudier les deux configurations extrêmes :

**configuration (a) :** quand  $\mathcal{L}_3$  est accolée à  $\mathcal{L}_2$ .

**configuration (b) :** quand  $\mathcal{L}_3$  est accolée à  $\mathcal{L}_4$ .

### II.1. Configuration (a)

Dans cette première configuration (a), les lentilles  $\mathcal{L}_2$  et  $\mathcal{L}_3$  sont accolées.

9. Etablir l'expression de la distance focale image  $f'_{23}$  de la lentille équivalente au système  $\{\mathcal{L}_2, \mathcal{L}_3\}$  en fonction de  $f'_2$  et  $f'_3$ .

La calculer numériquement et en déduire la nature de cette lentille équivalente.

10. Déterminer la distance  $\overline{O_2O_4}$  en fonction de  $f'_2, f'_3$  et  $f'_4$  pour que le système constitué des trois lentilles soit afocal. La calculer.
11. Réaliser un schéma de la configuration précédente et tracer deux rayons incidents parallèles entre eux, l'un passant par le centre  $O_2$  de la lentille équivalente, l'autre passant par le foyer objet équivalent  $F_{23}$  puis leur devenir au passage par le système. On expliquera succinctement la démarche de construction.
12. En supposant les conditions de Gauss respectées, exprimer le grossissement angulaire  $G_a = \frac{\alpha'}{\alpha}$  en fonction de  $f'_{23}$  et  $f'_4$ , avec  $\alpha$  et  $\alpha'$  les angles orientés des rayons incident et émergent définis par rapport à l'axe optique. Calculer  $G_a$ .

### II.2. Configuration (b)

Dans cette deuxième configuration (b), les lentilles  $\mathcal{L}_3$  et  $\mathcal{L}_4$  sont maintenant accolées en ayant pris soin de maintenir la distance  $\overline{O_2O_4}$  identique à celle de la question 10.

13. Le système est-il toujours afocal?

14. Réaliser un schéma de la configuration précédente et tracer deux rayons incidents parallèles entre eux, l'un passant par le centre  $O_2$  de la lentille  $\mathcal{L}_2$ , l'autre passant par le foyer objet  $F_2$  puis leur devenir au passage par le système. On expliquera succinctement la démarche de construction.
15. Déterminer  $G_b$  le grossissement angulaire correspondant défini comme à la question 12.

### II.3. Système complet

On place enfin derrière la lentille  $\mathcal{L}_4$ , une lentille  $\mathcal{L}_1$  de distance focale image  $f'_1 = 50\text{mm}$ .

16. A quelle distance de  $\mathcal{L}_1$  doit-on placer le capteur pour obtenir une image nette d'un objet placé à l'infini ? La distance  $O_4O_1$  importe-t-elle ?
17. Où doit-on placer la lentille  $\mathcal{L}_1$  pour que l'encombrement du système { lentilles - capteur } soit le plus faible possible ?

On note  $G_i$  le grossissement angulaire du dispositif afocal  $\{\mathcal{L}_2, \mathcal{L}_3, \mathcal{L}_4\}$  dans l'une des configurations précédentes a) ou b) (on a  $G_i = G_a$  ou  $G_i = G_b$ ). L'appareil vise un objet à l'infini vu sous un angle  $\alpha$  par la lentille  $\mathcal{L}_2$ .

18. Exprimer la dimension de l'image finale  $\overline{A''B''}$  formée sur le capteur à l'aide de  $G_i$ ,  $\alpha$  et  $f'_1$ .
19. En s'appuyant sur l'étude réalisée dans la section I, déduire les « focales »  $f'_a$  et  $f'_b$  de l'objectif constitué des quatre lentilles, respectivement pour les configurations (a) et (b).
20. En utilisant la taille de la pellicule donnée en I, déterminer numériquement le champ angulaire (défini en section I) dans les configurations (a) puis (b). Que vous inspirent ces valeurs ?
21. Quel est l'avantage de l'objectif bifocal sur un système composé d'une seule lentille ? Y aurait-il des inconvénients ?

### III. Objectifs dédiés spécifiquement à la macrophotographie

On dispose d'un objectif constitué d'une simple lentille  $\mathcal{L}_1$  (identique à la précédente), dont le tirage maximal est  $t_M = 6\text{mm}$ .

22. Quelle est la distance  $x_m$  minimale d'un objet pouvant être photographié net ?
23. On place alors une seconde lentille convergente  $\mathcal{L}_5$  de distance focale image  $f'_5 = 20\text{cm}$  à une distance  $e = 5,0\text{cm}$  devant l'objectif. Exprimer puis calculer la nouvelle distance minimale  $x_m$  d'un objet photographiable net.

\* \* \* FIN DE L'ÉPREUVE \* \* \*