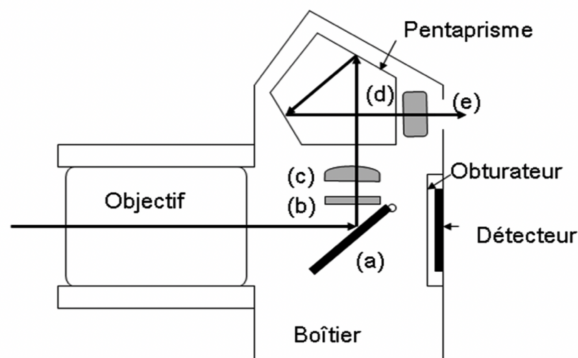


Devoir Maison n° 3

Instrument d'optique

Problème 1 Appareil photographique

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 ci-dessous représente les principaux éléments d'un appareil photo de type reflex, avec un miroir pivotant (a), un verre de visée (b), une lentille collectrice (c), un pentaprisme en toit (d) ainsi qu'un oculaire (e).



A Objectif assimilé à une simple lentille mince

Dans cette partie, on modélise l'objectif par une simple lentille mince L_{eq} de distance focale image f'_{eq} et on suppose que les conditions de Gauss sont respectées. Le capteur est un rectangle de taille $\ell \times L$. Pour les applications numériques, on prendra $f'_{eq} = 50$ mm, $\ell = 24$ mm et $L = 36$ mm.

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

1. Exprimer la diagonale d de la pellicule en fonction de ℓ et L . Calculer d .
2. Réaliser une construction géométrique de l'objectif visant un objet à l'infini $A_\infty B_\infty$ (avec A_∞ un point appartenant à l'axe optique) et construire son image $A'B'$ sur le capteur.
3. On note α l'angle sous lequel est vu l'objet à l'infini à travers l'objectif. Placer l'angle α sur le schéma précédent. Exprimer la relation entre la taille h de l'image $A'B'$ sur le capteur, α et f'_{eq} .
4. En déduire l'expression de l'angle maximal $2 \times \alpha_{max}$ sous lequel peut être vu un objet à l'infini entièrement sur la diagonale de la pellicule, en fonction de f'_{eq} , ℓ et L . C'est l'angle qui est appelé « champ angulaire de l'objectif ». Faire l'application numérique (en radian puis en degrés).

L'appareil étant initialement réglé sur un objet placé à l'infini, on vise maintenant 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 justifier par un schéma.
6. Exprimer t en fonction de x et f'_{eq} .
7. Calculer la variation de ce tirage pour un objet placé entre l'infini et $x = 10f'_{eq}$.

B Objectif bifocal

Dans cette partie, l'objectif étudié est constitué d'un ensemble de lentilles. Pour commencer, considérons trois lentilles minces L_2 , L_3 et L_4 , de centres optiques respectifs O_2 , O_3 et O_4 , placées suivant un même axe optique. L_2 et L_4 sont identiques et divergentes, de distance focale image $|f'_2| = 60$ mm tandis que L_3 est convergente avec $|f'_3| = 35$ mm. On a $\overline{O_2O_4} > 0$ et la lentille L_3 est susceptible de se déplacer entre les lentilles L_2 et L_4 .

On se propose d'étudier la configuration extrême dans laquelle L_3 est accolée à L_2 .

1. Donner l'expression de la distance focale image f'_{23} de la lentille équivalente au système $\{L_2, L_3\}$ en fonction de f'_2 et f'_3 . La calculer numériquement et en déduire la nature de cette lentille équivalente, notée L_{23} .
2. 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.
3. Réaliser un schéma de la configuration précédente et tracer le trajet de deux rayons incidents parallèles entre eux, l'un passant par le centre optique O_{23} de la lentille équivalente, l'autre passant par le foyer objet équivalent F_{23} . On laissera apparaître les rayons de construction pour expliquer la démarche.
4. En supposant les conditions de Gauss respectées, exprimer le grossissement $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ en fonction de f'_{23} et f'_4 , avec α et α' les angles orientés des rayons incident et émergent définis par rapport à l'axe optique. Calculer G .

On place ensuite derrière la lentille L_4 , une lentille L_1 de distance focale image $f'_1 = 50$ mm. L'appareil vise un objet à l'infini vu sous un angle α par la lentille L_2 .

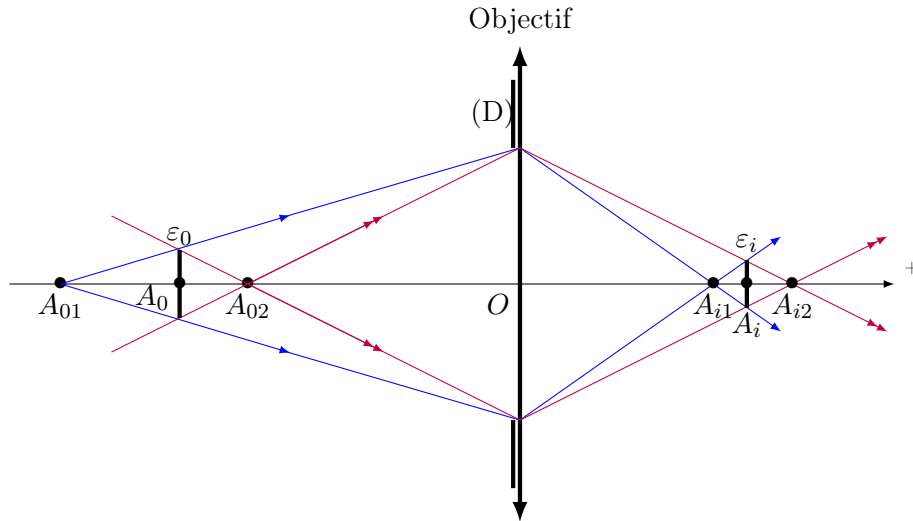
5. À quelle distance de L_1 doit-on placer le capteur pour obtenir une image nette d'un objet placé à l'infini ? La distance $\overline{O_4O_1}$ importe-t-elle ?
6. Où doit-on placer la lentille L_1 pour que l'encombrement du système {lentilles - capteur} soit le plus faible possible ?
7. Exprimer la dimension de l'image finale $A''B''$ formée sur le capteur à l'aide du grossissement G du dispositif $\{L_2, L_3, L_4\}$, de l'angle α et de f'_1 .
8. On se place maintenant dans l'autre configuration extrême c'est-à-dire avec la lentille L_3 accolée à la lentille L_4 dans l'objectif bifocal tout en gardant la distance $\overline{O_2O_4}$ inchangée.
 - 8.a. Les lentilles L_2 et L_4 étant identiques, que dire des deux configurations extrêmes : $L_{23}+L_4$ et L_2+L_{34} ?
 - 8.b. En déduire très rapidement le grossissement G' du système bifocal dans la nouvelle configuration.
9. En utilisant la taille de la pellicule donnée dans la partie A, déterminer numériquement les champs angulaires dans les configurations extrêmes de l'objectif bifocal.
10. Commenter la compatibilité des valeurs obtenues pour les champs angulaires avec les conditions de Gauss.

L'objectif bifocal permet d'avoir un effet « zoom » variable comme si la distance focale était variable. C'est un compromis entre une mono-lentille et un zoom. Plus compliqué que le premier, il reste beaucoup plus simple et moins cher que le second. Toutefois, cela se fait au prix d'un encombrement supérieur non négligeable. L'autre inconvénient est qu'il sera probablement plus difficile de corriger les aberrations géométriques et chromatiques (dues aux conditions de Gauss pas toujours respectées) puisqu'il y a plusieurs lentilles. Certains photographes préfèrent ainsi utiliser une focale fixe pour la qualité de l'image.

C Profondeur de champ

Outre les notions de tirage et de champ angulaire vues dans les parties précédentes, celle de profondeur de champ est toute aussi importante pour caractériser un appareil photographique.

La photographie d'un objet de taille finie doit demeurer nette sur toute la profondeur de champ. On se reportera à la figure ci-dessous qui modélise un objectif avec la simple lentille mince de distance focale image f'_{eq} de la partie A, et sur laquelle on peut voir que l'ensemble des points objets situés sur l'axe optique entre A_{01} et A_{02} , pour un diamètre D du diaphragme (D), n'impressionnent qu'un seul grain argentique de la pellicule (ou un seul pixel de la matrice CCD) de longueur ε . Cette gamme de distances séparant ces objets de l'objectif $\Delta d_0 = d_{01} - d_{02}$ est appelée profondeur de champ, avec d_{01} et d_{02} respectivement les distances algébriques $\overline{A_{01}O}$ et $\overline{A_{02}O}$.



1. En complétant la figure fournie en annexe, déterminer les positions des foyers principaux F et F' de la lentille mince.
2. En notant d_0 la distance $\overline{A_0O}$ à laquelle un objet de dimension ε_0 donne une image de dimension $\varepsilon_i = \varepsilon$ dans le plan de détection, exprimer d_{01} et d_{02} en fonction de d_0 , D , ε_0 .
3. En déduire l'expression de la profondeur de champ Δd_0 en fonction de d_0 , D , ε et la valeur absolue du grandissement transversal $|\gamma| = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_0}$.
4. Comment le diamètre D du diaphragme influence-t-il la profondeur de champ ?

ANNEXE :

NOM - Prénom :

