

Optique géométrique
TD n°3 : Systèmes dioptriques centrés, lentilles

I- Vision sous-marine

Une lame à faces parallèles d'indice $n = 1,5$ et d'épaisseur $e = 5$ mm sépare un milieu rempli d'eau d'indice $n_o = 1,33$ de l'air.

1. Exprimer la distance $\overline{A_o A_i}$ séparant l'image A_i d'un objet A_o situé dans l'eau à une distance p_o de la surface immergée de la lame, en fonction de e , n , n_o et p_o . Calculer cette distance pour $p_o = 2$ m.
2. Evaluer l'influence sur cette distance d'une modification de e ? Conclure.

II - Profondeur de champ d'un appareil photo

Dans un appareil photo, l'image d'un objet ponctuel A_o n'a jamais besoin d'être rigoureusement ponctuelle en raison de la taille finie ε d'un grain d'argent de la pellicule (photo argentique) ou d'un pixel du détecteur CCD (photo numérique). Par conséquent, la photo sera « nette » si la dimension ε_i de l'image d'un point est inférieure à ε . En assimilant l'objectif de l'appareil à une simple lentille mince de distance focale image f_i , la figure 1 ci-dessous montre que l'ensemble des points objets situés sur l'axe optique entre A_{o1} et A_{o2} , pour une ouverture numérique définie par le diaphragme de diamètre D , n'impressionnent qu'un seul grain ou un seul pixel. La gamme des distances séparant ces objets de l'objectif, $\Delta d_0 = d_{o1} - d_{o2}$, est appelée profondeur de champ.

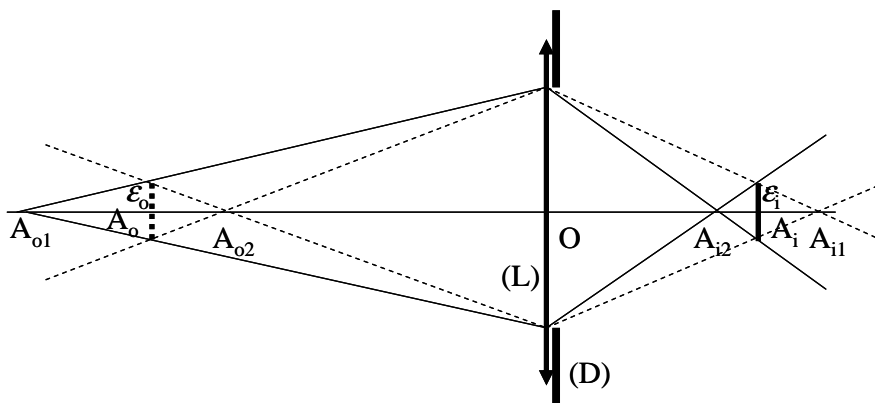


Fig. 1

1. En notant d_0 la distance $A_o O$ à laquelle un objet de dimension ε_o donne une image de dimension $\varepsilon_i = \varepsilon$ dans le plan d'enregistrement (cf. Fig. 1), exprimer d_{o1} et d_{o2} en fonction de d_0 , D , ε et du module du grandissement transversal $|G_t| = |\varepsilon_i / \varepsilon_o|$. En déduire l'expression de la profondeur de champ.
2. On examine plus particulièrement le cas d'un objet éloigné, $d_0 \gg f_i$, et donc où la pellicule ou le détecteur CCD sont pratiquement dans le plan focal image. Montrer que l'on a :

$$\Delta d_0 \approx \frac{2 \varepsilon d_0^2}{D f_i}$$

Discuter dans ce cas de l'effet de d_0 , D , ε et f_i sur la profondeur de champ.

3. On considère un appareil numérique pour lequel la taille d'un pixel vaut $\varepsilon = 20 \mu\text{m}$. L'objectif de focale $f_i = 35 \text{ mm}$ a une ouverture numérique maximale : $f_i / D = 2,8$. Calculer la profondeur de champ pour une photo d'un paysage ($d_0 = 100 \text{ m}$) et pour un portrait ($d_0 = 2 \text{ m}$). Dans ce dernier cas on utilise un téléobjectif de focale 105 mm dont l'ouverture numérique maximale est $4,9$. Que devient la profondeur de champ ? Comment peut-on l'augmenter ? Quelles en sont les limites ?

III - Etude d'une lentille boule.

Une lentille formée par une sphère de centre C, de rayon $R = 4 \text{ cm}$ et d'indice $n = 1,5$, est étudiée dans les conditions de Gauss.

1. Montrer que cette lentille épaisse est équivalente à une lentille mince en recherchant la position du centre optique, des points nodaux et des points principaux.

2. a) Trouver la position des foyers F_0 et F_i de la lentille. Calculer sa focale f et sa vergence V .

b) A partir de la position des foyers de chaque dioptré, retrouver par construction la position des foyers et des plans principaux (échelle 1/2).

3. a) Déterminer la position et la grandeur de l'image d'un objet réel de hauteur 1 mm et situé sur la face d'entrée de la lentille.

b) Vérifier ce résultat par construction (direction transversale : échelle 10)

IV - Objectif d'une lunette astronomique

Un objectif de lunette astronomique est composé d'une lentille biconvexe dont les rayons de courbure sont de 5 cm , accolée à une lentille dont l'une des faces est plane. Les caractéristiques sont indiquées sur la figure 2.

1. Calculer la vergence des différents dioptrés.

2. Déterminer en unités S.I. la matrice de transfert entre plans d'entrée E et de sortie S de cet objectif.

3. Trouver la position des éléments cardinaux de ce système centré.

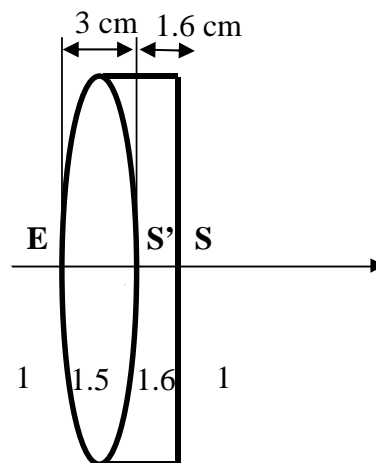


Fig. 2

V - Travail personnel : Téléobjectif

Un téléobjectif est constitué de deux lentilles minces L_1 et L_2 placées dans l'air et de centres optiques O_1 et O_2 .

La lentille L_1 constitue la face d'entrée de ce système centré (Σ) et on pose $O_1O_2 = e$. On donne $V_1 = 20 \delta$ et $V_2 = -40 \delta$, les vergences respectives des lentilles (L_1) et (L_2).

1. À quelles conditions portant sur e un tel système forme-t-il une image réelle d'un objet à l'infini ? *Rép : $2,5 \text{ cm} < e < 5 \text{ cm}$*
2. Calculer la distance entre la lentille L_1 et l'image réelle ($e = 3 \text{ cm}$). *Rép : 25 cm*
3. Calculer la hauteur de l'image que le système (L_1L_2) donne d'un édifice de 20 m de haut situé à une distance de 500 m. *Rép : $- 1 \text{ cm}$*
4. Dédire l'intérêt du téléobjectif par rapport à une simple lentille mince qui formerait une image réelle de même dimension. *Rép : deux fois moins encombrant.*