

## Feuille d'exercices n°5

### Optique (II) : Lentilles minces et instruments d'optique

#### **Exercice 1 : Positionnement de la pellicule d'un appareil photographique :**

L'objectif d'un appareil photo est assimilé à une lentille mince convergente de distance focale (image)  $f = 5$  cm. On utilise cet appareil pour prendre en photo une fleur, située à  $d = 15$  cm de l'objectif.

- 1) Faites un schéma (à l'échelle  $\frac{1}{2}$ ) où apparaissent la fleur (que l'on représentera comme un objet AB), l'objectif et l'image A'B' de la fleur.
- 2) A quelle distance D derrière l'objectif doit se trouver la pellicule pour que la photo soit nette ? Est-ce en accord avec votre construction de la question 1) ?

#### **Exercice 2 : Caractéristiques d'une lentille :**

Une lentille mince sphérique donne d'un objet réel situé à 60 cm avant son centre une image droite réduite d'un facteur 5. Déterminer par le calcul et par une construction géométrique la position de l'image et la distance focale de la lentille.

#### **Exercice 3 : Elargisseur de faisceau :**

On souhaite élaborer un dispositif optique capable de transformer un faisceau incident de rayons parallèles à l'axe, de diamètre  $d = 5$  mm en un faisceau émergent de rayons parallèles à l'axe de diamètre D, avec  $D > d$ . On dispose pour cela de deux lentilles convergentes :  $L_1$  de focale  $f_1' = 10$  mm et  $L_2$  de focale  $f_2' = 10$  cm.

- 1) Quelle doit être la distance  $\overline{O_1O_2}$  entre les deux lentilles ?
- 2) Faites un schéma du dispositif.
- 3) Calculez le diamètre D du faisceau émergent.

#### **Exercice 4 : Pouvoir séparateur de l'œil :**

Le pouvoir séparateur d'un œil emmétrope est  $\alpha_{\min} = 3,0 \cdot 10^{-4}$  rad, c'est à dire que deux points peuvent être vus distinctement si leur écart angulaire est supérieur à cette valeur.

- 1) Jusqu'à quelle distance cet œil peut-il distinguer deux traits parallèles séparés de  $d = 2,0$  mm ?
- 2) Quelle doit être la taille d'une lettre d'un panneau autoroutier pour être lue à 250 m ? (faire l'étude avec la lettre E).
- 3) Si on assimile l'œil à une lentille convergente associée à un écran (rétine) placé à une distance fixe  $L = 2,0$  cm derrière, quelle est la taille moyenne d'un récepteur de la rétine ?

#### **Exercice 5 : Grossissement commercial d'une loupe :**

Une loupe est une lentille convergente de focale  $f$ .

- 1) Calculez son grossissement commercial  $G_C = \frac{\alpha'}{\alpha}$ , où  $\alpha'$  est l'angle sous lequel on voit un objet AB à travers la loupe quand l'image se forme à l'infini et  $\alpha$  est l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu (sans la loupe) quand on le place au *Punctum Proximum* de l'œil (on prendra le PP d'un œil normal à la distance  $d_m = 25$  cm).
- 2) Application numérique : combien vaut le grossissement commercial d'une loupe de vergence  $V = 10 \delta$  ?
- 3) Le pouvoir de résolution (appelé aussi pouvoir séparateur angulaire) d'un œil normal dans de bonnes conditions d'éclairement est d'environ une minute d'arc, soit  $3 \cdot 10^{-4}$  rad.

Donnez la taille du plus petit objet que peut distinguer un œil normal en accommodant au maximum (on prendra toujours le PP à  $d_m = 25 \text{ cm}$ ).

4) Donnez la taille du plus petit objet que peut distinguer un œil normal en utilisant la loupe, sans avoir besoin d'accommoder. Conclure.

### **Exercice 6 : Camera obscura :**

Bob souhaite prendre une photo de son visage. Il dispose pour cela d'une plaque photosensible (faite du même matériau qu'une pellicule photo) de la même taille que son visage.

1) Première idée : Bob tient la plaque quelques instants face à son visage. Quelle image va apparaître sur la plaque ?

2) Quel dispositif très simple (n'utilisant aucune lentille ou miroir) peut fabriquer Bob pour avoir une bonne photo de son visage ?

3) Comment Bob peut-il encore améliorer son dispositif s'il dispose d'une lentille convergente ?

### **Exercice 7 : Appareil photographique (concours ENAC Pilote 2006) :**

1) On assimile l'objectif d'un appareil photographique à une lentille mince convergente de distance focale image  $f'_a = 135 \text{ mm}$ . On désire photographier une toile de maître située à 3 m en avant de l'objectif. A quelle distance  $p' > 0$ , en arrière de l'objectif, faut-il placer la pellicule photographique pour obtenir une image nette de la toile?

A)  $p' = 93 \text{ mm}$       B)  $p' = 129 \text{ mm}$       C)  $p' = 141 \text{ mm}$       D)  $p' = 245 \text{ mm}$

2) Cet appareil photographique est utilisé pour photographier le ciel nocturne. Son format est le 24 x 36, ce qui signifie que la pellicule photographique mesure 24 mm de hauteur et 36 mm de largeur. Quel est le champ du ciel photographié?

A)  $10^\circ \times 15^\circ$       B)  $20^\circ \times 30^\circ$       C)  $32^\circ \times 48^\circ$       D)  $64^\circ \times 48^\circ$

3) Calculer, en minute d'arc ( $'$ ), le diamètre apparent  $\theta$  du disque lunaire vu par l'objectif de l'appareil photographique. On supposera la Lune sphérique, de rayon 1 740 km, et de centre situé à 384 000 km de l'objectif.

A)  $\theta = 0,086'$       B)  $\theta = 16'$       C)  $\theta = 31'$       D)  $\theta = 1800'$

4) Avec cet appareil, on photographie la pleine Lune, l'axe optique de l'objectif étant dirigé vers le centre du disque lunaire. On effectue un tirage de la pellicule sur du papier de format 10 x 15 cm<sup>2</sup>. Quel est le diamètre  $d$  du disque lunaire sur le papier?

A)  $d = 1,4 \text{ mm}$       B)  $d = 5,1 \text{ mm}$       C)  $d = 2,6 \text{ mm}$       D)  $d = 31,0 \text{ mm}$

5) L'objectif d'un projecteur de diapositive est assimilé à une lentille mince convergente qui donne, d'un objet réel, une image inversée et de même dimension, sur un écran placé à 0,2 m de l'objet. Calculer la distance focale

image  $f'_p$  de cet objectif:

A)  $f'_p = 2 \text{ cm}$       B)  $f'_p = 5 \text{ cm}$       C)  $f'_p = 20 \text{ cm}$       D)  $f'_p = 50 \text{ cm}$

6) Le projecteur précédent forme l'image d'une diapositive de format 24 x 36 mm<sup>2</sup> sur un écran situé à 4,5 m de distance. Quelle est la taille de l'image sur l'écran?

A) 1 x 1,5 m<sup>2</sup>      B) 1,7 x 2,6 m<sup>2</sup>      C) 2,1 x 3,2 m<sup>2</sup>      D) 5,4 x 8,1 m<sup>2</sup>

### **Exercice 8 : Projection :**

1) On veut projeter sur un mur l'image d'une diapositive de taille 24 mm x 36 mm à l'aide d'une lentille de focale  $f = 8,0 \text{ cm}$ . Le mur étant à 5,0 m derrière la lentille, préciser la position de la diapositive et les dimensions de l'image nette obtenue sur le mur.

2) On souhaite à présent obtenir une image 40 fois plus grande que l'objet. Ce dernier restant fixe, indiquer dans quel sens et de quelle distance il faut déplacer la lentille et l'écran.

### **Exercice 9 : Microscopie optique : (extrait du concours Centrale/Supélec) :**

#### **LA - Ordres de grandeur**

Un microscope optique permet d'observer des globules sanguins, un microscope électronique des défauts d'une structure cristalline, un microscope à sonde locale des atomes. Quels sont les ordres de grandeur des objets observés et du pouvoir de résolution minimal de chacun des microscopes utilisés ?

#### **I.B - Microscope optique ; étude géométrique**

Un microscope optique porte les indications suivantes. Sur son objectif :  $\times 40$  ; sur l'oculaire :  $\times 10$ . La notice constructeur précise : ouverture numérique de l'objectif  $\omega_0 = 0,65$ , intervalle optique  $\Delta = 16 \text{ cm}$ . **La signification de ces indications sera précisée dans la suite.** Le microscope sera modélisé par deux lentilles minces convergentes. Il est réglé pour donner une image à l'infini d'un objet réel AB, perpendiculaire à l'axe optique, A étant placé sur l'axe, légèrement en avant du foyer objet de l'objectif. Cette image est observée par un œil emmétrope placé au voisinage du foyer image de l'oculaire. L'œil nu voit nettement des objets situés entre la distance  $\delta = 25 \text{ cm}$  et l'infini.

I.B.1) Faire un schéma du dispositif (sans respecter l'échelle) et tracer soigneusement la marche de 2 rayons lumineux issus du point B de l'objet AB, l'un émis parallèlement à l'axe optique, l'autre passant par  $F_1$  foyer objet de la lentille  $L_1$  équivalente à l'objectif de centre optique  $O_1$ .

I.B.2) a) L'indication portée sur l'oculaire ( $\times 10$ ) est le grossissement commercial, c'est-à-dire le rapport de l'angle sous lequel on voit l'image à l'infini d'un objet à travers l'oculaire seul et l'angle sous lequel on voit ce même objet à l'œil nu lorsqu'il est situé à la distance minimale de vision distincte. Déterminer  $f'_2$ , distance focale image de l'oculaire.

b) L'intervalle optique correspond à la distance  $F_1'F_2$ . La valeur absolue du grandissement de l'objet AB par l'objectif est :  $\times 40$ . Calculer  $f'_1$ , distance focale image de la lentille équivalente à l'objectif. Calculer la distance  $O_1A$  permettant de positionner l'objet.

c) Déterminer la latitude de mise au point, c'est-à-dire la variation de la distance  $O_1A$  compatible avec une vision nette de l'image finale par l'observateur, dont l'œil est au foyer image de l'oculaire. Interpréter le résultat obtenu.

d) Calculer dans le cas d'une image finale à l'infini le grossissement commercial du microscope.

I.B.3) L'ouverture numérique du microscope,  $\omega_0$ , correspond à  $n \sin u$ ,  $n$  indice du milieu dans lequel plonge l'objectif,  $u$  angle maximum des rayons issus de A arrivant sur l'objectif. Calculer  $u$  pour un objectif plongé dans l'air. Le microscope est-il utilisé dans les conditions de Gauss ? Quel type d'aberrations doit-on corriger ? Quel est l'ordre de grandeur du diamètre de la monture de l'objectif ?

I.B.4) Déterminer la position et la taille du cercle oculaire, image de la monture de l'objectif à travers l'oculaire. Quel est l'intérêt de placer l'œil dans le plan du cercle oculaire ? On serait tenté pour augmenter le grossissement du microscope de prendre un oculaire de grossissement élevé ; est-ce judicieux ? Justifier votre réponse.

### **Exercice 10 : Lunette terrestre :**

Une lunette terrestre (ou « lunette de Galilée ») est formée d'un objectif assimilable à une lentille mince convergente  $L_1$  de distance focale  $f_1 = 50 \text{ cm}$  et d'un oculaire assimilable à une lentille mince  $L_2$  de distance focale  $f_2 = -5 \text{ cm}$ . La lunette est un système afocal.

1) Combien doit valoir la distance  $d$  qui sépare les deux lentilles ?

2) Dessiner le trajet d'un faisceau de rayons lumineux issu de l'infini hors de l'axe.

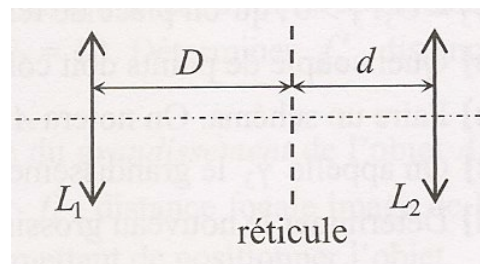
3) Déterminer le grossissement (ou « grandissement angulaire ») de la lunette.

4) la lentille divergente est maintenant remplacée par un ensemble de deux lentilles accolées, une lentille  $L_3$  divergente et une lentille  $L_4$  identique à  $L_1$ . Quelle est la distance focale de  $L_3$  ?

### Exercice 11 : Viseur à frontale fixe :

Un viseur à frontale fixe est constitué :

- d'un objectif : lentille mince  $L_1$  convergente de focale  $f_1' = 7,0$  cm et de centre  $O_1$
- d'un réticule distant de  $D = 14$  cm de l'objectif
- et d'un oculaire : lentille mince  $L_2$  convergente de centre  $O_2$  et de focale  $f_2' = 3,0$  cm, placé à la distance  $d$  du réticule



1) Un œil « normal » voit sans accommodation à l'infini. En déduire la distance  $d$  pour que l'œil puisse voir le réticule sans accommoder.

2) On cherche à voir simultanément l'objet visé et le réticule.

a) Où doit-on placer un objet pour pouvoir le voir à travers le viseur ? On demande l'expression littérale de  $\overline{O_1A}$  et l'application numérique.

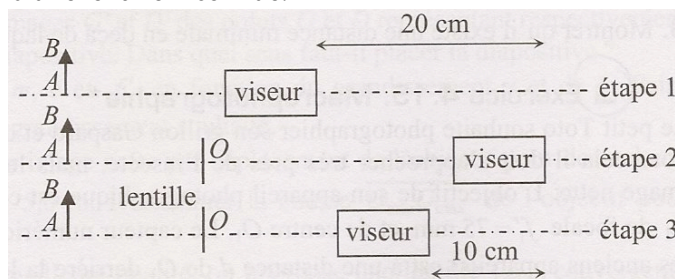
b) Cette position dépend-elle de la nature de l'œil (« normal » ou myope) ?

c) Justifier le nom de « viseur à frontale fixe ».

3) Le viseur est utilisé pour mesurer la distance focale  $f$  d'une lentille inconnue.

Tout d'abord on vise l'objet AB et on note la position du viseur (étape 1).

Ensuite, on place la lentille après l'objet et on vise son centre O à l'aide d'une marque faite sur le verre de la lentille (étape 2) ; pour cela on doit reculer le viseur de  $x_1 = 20$  cm. Enfin, pour la visée de A'B' à travers la lentille, on doit avancer le viseur de  $x_2 = 10$  cm (étape 3).



a) Préciser les valeurs de  $\overline{OA}$  et  $\overline{OA'}$ .

b) En déduire la valeur de  $f$ .

### Exercice 12 : Macrophotographie :

On souhaite photographier un papillon et obtenir des images de grande taille. Pour cela, il faut s'approcher de très près de l'insecte, mais le problème est alors d'obtenir une image nette. L'objectif de l'appareil photographique est constitué d'une lentille convergente  $L_1$  de focale  $f_1' = 75$  mm et de centre  $O_1$ . Le capteur numérique (équivalent de la pellicule dans les anciens appareils) est à une distance  $d$  de  $O_1$  :  $d$  est une distance réglable entre  $f_1'$  et  $f_1' + t$  (où  $t = 8,0$  mm est le tirage de l'objectif).

1) L'insecte est assimilé à un objet AB de taille 1,5 cm, et on approche l'objectif jusqu'à 20 cm de l'animal. Peut-on le photographier en ayant une image nette sur le capteur ?

2) On fixe devant l'objectif une lentille additionnelle  $L_2$  (appelée « bonnette » en français ou « close up lens » en anglais), convergente, de centre  $O_2$ , de vergence  $V_2 = +4,0 \delta$ . La distance  $D = O_2O_1$  est constante et égale à 2,0 cm.



a) Le tirage étant inchangé, déterminer l'ensemble des points A de l'axe qui peuvent, après mise au point, être photographiés (c'est à dire donner une image nette sur le capteur). On indiquera leurs positions par rapport à la bonnette (c'est à dire la distance  $\overline{O_2A}$ ).

b) On photographie le papillon en s'approchant toujours à 20 cm (soit  $\overline{O_2A} = -20$  cm). La mise au point étant faite, calculer la taille de l'image A'B' sur le capteur.