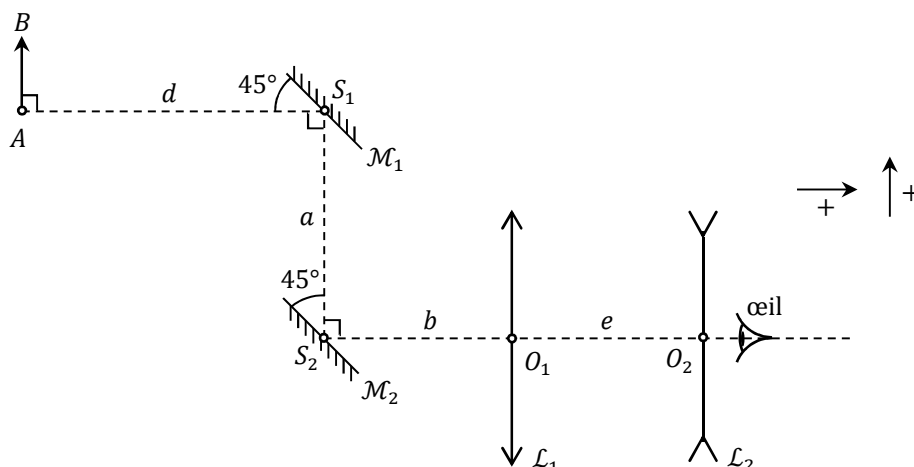


|                            |                                                                                                    |                                        |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| PCSI                       | <b>Devoir Surveillé n°1</b><br>Durée 2h30<br>Calculatrice autorisée<br>Téléphone portable interdit | Physique<br><i>Optique géométrique</i> |
| Mercredi 23 septembre 2026 |                                                                                                    |                                        |

## Problème n°1 : Optique d'un périscopie

L'entrée d'un périscopie est constituée de deux miroirs plans  $\mathcal{M}_1$  et  $\mathcal{M}_2$ , circulaires et de centres respectifs  $S_1$  et  $S_2$  (Fig. ci-après). Après réflexions sur  $\mathcal{M}_1$  et  $\mathcal{M}_2$ , la lumière entre dans un système de deux lentilles  $\mathcal{L}_1$  et  $\mathcal{L}_2$ , assimilées à des lentilles minces de centres respectifs  $O_1$  et  $O_2$ . Les miroirs sont inclinés d'un angle de  $45^\circ$  par rapport à l'axe optique du système représenté en pointillés. L'orientation algébrique de l'axe optique ainsi que celle de l'axe transversal sont indiquées sur la figure (signes +). Les distances focales images algébrisées de  $\mathcal{L}_1$  et  $\mathcal{L}_2$  sont respectivement  $f'_1 = 1$  m et  $f'_2 = -0,125$  m. Un œil emmétrope (c'est-à-dire sans défaut) est placé juste derrière  $\mathcal{L}_2$ . Le périscopie  $\mathcal{S}_p$  est donc l'ensemble catadioptrique  $\{\mathcal{M}_1, \mathcal{M}_2, \mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2\}$ . On observe un objet placé dans un plan transversal, en avant de  $\mathcal{S}_p$ .

On introduit les distances  $a = S_2S_1 > 0$ ,  $b = S_2O_1 > 0$ ,  $e = O_1O_2 > 0$  et  $d = AS_1 > 0$ . Dans tout l'exercice, on admet que les lentilles fonctionnent dans les conditions de Gauss.

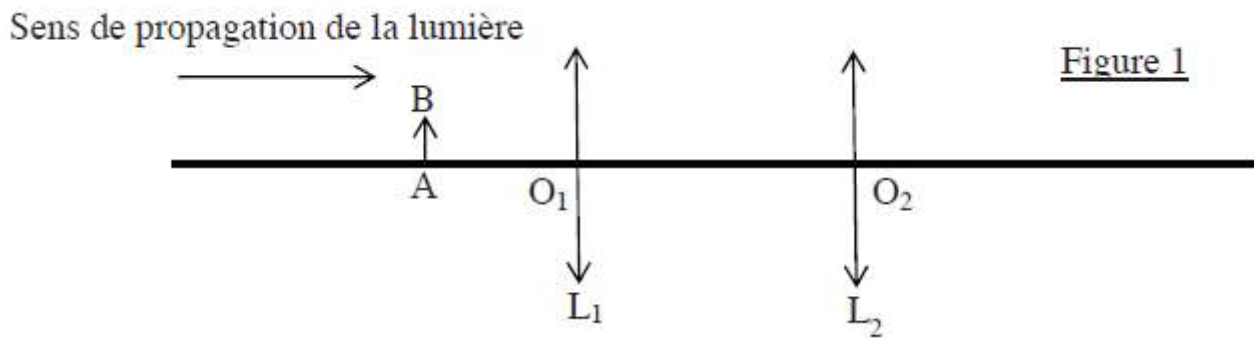


1. L'objet  $AB$  est placé à grande distance du périscopie (suffisamment loin pour que  $d$  puisse être considéré infini). On note  $e_0$  la valeur de  $e$  permettant à l'œil d'observer  $AB$  à travers  $\mathcal{S}_p$  sans accommoder. Exprimer  $e_0$ . Faire l'application numérique.
2. L'objet étant encore à l'infini, on règle  $\mathcal{S}_p$  de telle sorte que  $e = e_0 - \epsilon$  où  $\epsilon > 0$  et  $\epsilon \ll e_0$ . Que peut-on affirmer ?  
A) L'image de  $AB$  par  $\mathcal{S}_p$  est réelle.      B) L'image de  $AB$  par  $\mathcal{S}_p$  est virtuelle.
3. L'objet est maintenant placé à distance finie. On note  $A_1B_1$  l'image de  $AB$  par le système  $\{\mathcal{M}_1, \mathcal{M}_2, \mathcal{L}_1\}$  et  $p'_1 = \overline{O_1A_1}$ . Montrer que  $p'_1 = \frac{f'_1(a+b+d)}{a+b+d-f'_1}$ .
4. Quelle est alors la taille (grandeur algébrique)  $\overline{A_1B_1}$  de cette image intermédiaire ?
5. L'image  $A_2B_2$  de  $AB$  par  $\mathcal{S}_p$  se forme en avant de  $\mathcal{L}_2$ , à une distance  $\overline{A_2O_2} = d_m$  où  $d_m = 25$  cm. On envisage que l'œil puisse désormais accommoder. En outre,  $\overline{A_2B_2} = 1$  mm. On note  $\theta > 0$  l'angle sous lequel l'image de  $AB$  par  $\mathcal{S}_p$  est vue par l'observateur (on rappelle que l'œil est derrière et à proximité immédiate de  $\mathcal{L}_2$ ). Calculer l'angle  $\theta$  sous lequel  $A_2B_2$  est vu par l'œil. Comparer au pouvoir de résolution de l'œil.

## Problème n°2 : Microscopie optique

Le microscope est modélisé sur la figure 1, par un système de deux lentilles minces convergentes, l'une constituant l'objectif (lentille  $L_1$  de centre  $O_1$  et de distance focale image  $f_1' = 5 \text{ mm}$ ), et l'autre constituant l'oculaire (lentille  $L_2$  de centre  $O_2$  et de distance focale image  $f_2' = 15 \text{ mm}$ ).

On fixe  $\overline{O_1 O_2} = D_0 = 120 \text{ mm}$ . On choisit le sens positif dans le sens de propagation de la lumière.



On rappelle la relation de conjugaison d'une lentille et l'expression du grandissement  $\gamma$  :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

1. Les relations précédentes sont valables à condition que les rayons lumineux satisfont les conditions de Gauss. Donner ces deux conditions.
2. Si  $F_1'$  est le foyer image de  $L_1$  et  $F_2$  le foyer objet de  $L_2$ , on définit l'intervalle optique par la grandeur algébrique  $\Delta = \overline{F_1' F_2}$ . Exprimer  $\Delta$  en fonction de  $f_1', f_2', D_0$ , puis calculer sa valeur.
3. Un objet réel  $AB$  perpendiculaire à l'axe optique est éclairé et placé à une distance  $d$  de  $L_1$ , à sa gauche, de façon à ce que l'image  $A'B'$  donnée par l'objectif, appelée image intermédiaire, se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire. L'observation se fait à l'œil placé au contact de l'oculaire.
  - 3.a) Exprimer  $d$  en fonction de  $f_1'$  et  $\Delta$ , puis calculer sa valeur.
  - 3.b) Exprimer le grandissement  $\gamma_I$  induit par l'objectif en fonction de  $f_1'$  et  $\Delta$ , puis calculer sa valeur.

**3.c)** Quel est l'intérêt pour l'observateur de cette position de l'objet ?

**3.d)** Faire une construction géométrique faisant apparaître l'objet, l'image intermédiaire, ainsi que l'angle  $\alpha'$  sous lequel est observée l'image finale à travers le microscope.

**4.** Le grossissement commercial du microscope est défini par  $G = \left| \frac{\alpha'}{\alpha} \right|$  où  $\alpha$  est l'angle sous lequel serait vu l'objet à l'œil nu placé à une distance  $D = 250$  mm.

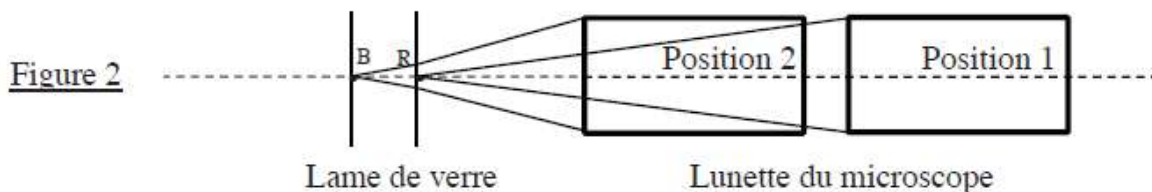
L'objet étant de très petite taille, ces deux angles seront bien sûr très faibles.

Exprimer  $G$  en fonction de  $\Delta$ ,  $D$ ,  $f_1'$  et  $f_2'$ , puis calculer sa valeur.

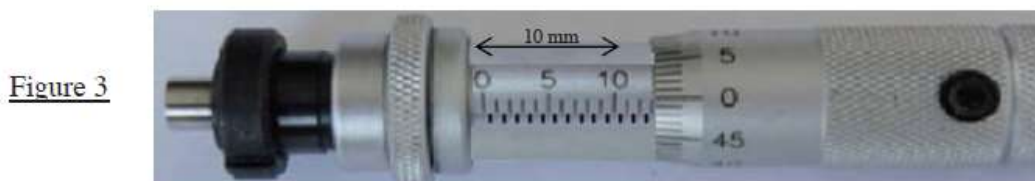
**5.** On utilise ce microscope pour mesurer l'épaisseur  $e$  d'une mince lame de verre à faces parallèles, d'indice  $n = 1,5$ .

On colle une petite pastille bleue (B) sur la face gauche de la lame et une petite pastille rouge (R) sur sa face droite.

On positionne d'abord la lunette (ensemble objectif + oculaire) du microscope de façon à faire la mise au point sur la pastille rouge (Figure 2, Position 1). Puis, grâce à une vis micrométrique, on translate la lunette d'une distance  $\varepsilon$ , de façon à faire la mise au point sur l'image de la pastille bleue (Figure 2, Position 2) :



La figure 3 ci-dessous montre la position 2 de la vis micrométrique, la position 1 correspondant à la graduation 40 de la partie mobile.

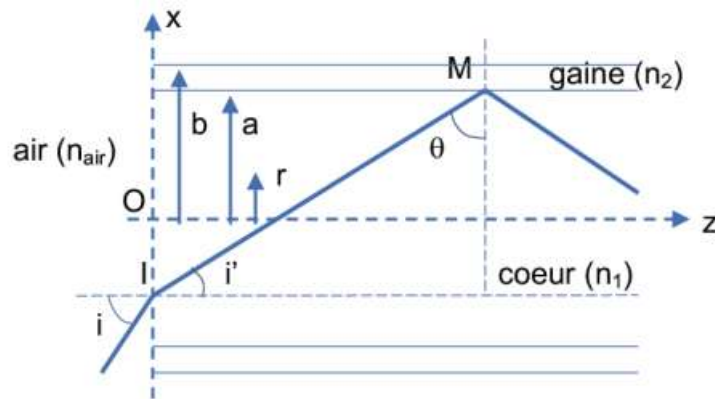


**5.a)** Déterminer la valeur mesurée de  $\varepsilon$  en mm, avec une estimation de l'incertitude de mesure.

**5.b)** En tenant compte du phénomène de réfraction et en considérant les rayons lumineux très peu inclinés par rapport à l'axe optique, exprimer  $e$  en fonction de  $n$  et  $\varepsilon$ , puis calculer sa valeur.

### Problème 3 : Etude d'une fibre optique

Grâce à sa simplicité d'installation, sa discrétion et sa fiabilité, la fibre optique apparaît de plus en plus dans les habitations pour la transmission de données numériques. On étudie ci-dessous une fibre optique à « saut d'indice » constituée d'un cœur cylindrique en silice de rayon  $a$  et d'indice  $n_1$ , entouré d'une gaine en silicone d'indice  $n_2$  et de rayon extérieur  $b$ . Les faces d'entrée et de sortie sont perpendiculaires au cylindre d'axe  $Oz$  formé par la fibre. L'ensemble, en particulier la face d'entrée, est en contact avec l'air d'indice  $n_{\text{air}} = 1,0$ . On considère un rayon incident sur le cœur et contenu dans le plan  $Oxz$  (voir figure ci-dessous). On note  $i$  l'angle d'incidence.



1. Quel est le phénomène physique se produisant en I ? Quel est celui se produisant en M ? Poursuivre sur votre copie le tracé du rayon lumineux dans la fibre.
2. Énoncer les lois de la réfraction de Snell-Descartes. On s'appuiera de même sur un schéma définissant les différentes grandeurs.
3. A quelles conditions un rayon lumineux subit-il une réflexion totale sur un dioptré séparant un milieu incident d'indice  $n_1$  et un milieu d'indice  $n_2$  ? Il est attendu une condition concernant les indices optiques et une autre concernant l'angle d'incidence.
4. Déterminer en fonction de  $n_1$  et  $n_2$  la condition sur l'angle  $i$  pour que le rayon ait une propagation guidée dans le cœur ?
5. On appelle ouverture numérique du guide ( $O. N.$ ) la quantité  $O. N. = \sin i_{\text{max}}$  où  $i_{\text{max}}$  est la valeur maximale de l'angle  $i$ . Exprimer  $O. N.$  en fonction de  $n_1$  et  $n_2$ .
6. Calculer  $i_{\text{max}}$  et  $O. N.$  pour  $n_1 = 1,456$  et  $n_2 = 1,410$ .
7. On considère dans cette question une fibre à gradient d'indice « parabolique » : dans le cœur, l'indice varie suivant la loi  $n(r) = (n_1 - (n_1 - n_2) \frac{r^2}{a^2})$ ,  $r$  étant la distance d'un point du cœur à l'axe  $Oz$ . Tracer schématiquement et en justifiant, le rayon lumineux dans le cœur. On pourra considérer le cœur comme un empilement de couronnes concentriques d'indice lentement variable.

\*\*\* Fin de l'épreuve \*\*\*