

Devoir n°1 - Pour le lundi 14 septembre

Remarques préliminaires importantes

Il est rappelé aux candidat(e)s que :

- les explications des phénomènes étudiés interviennent dans la notation au même titre que les développements analytiques et les applications numériques ; les résultats exprimés sans unité ne seront pas pris en compte ;
- tout résultat fourni dans l'énoncé peut être admis et utilisé par la suite, même s'il n'a pas été démontré par le(la) candidat(e).

Rappel des relations de conjugaison pour une lentille mince \mathcal{L} de centre O , de foyer objet F , de foyer image F' et de distance focale image f' donnant d'un objet AB une image $A'B'$.



Représentation de A' image de A par \mathcal{L}

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$$

(1) Relation de Descartes

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

(2) Relations de grandissement



Figure 5 - Lamelles d'épaisseur e .

L'objectif est de déterminer les caractéristiques d'une lamelle d'épaisseur e et d'indice n par deux méthodes. Ce problème comporte cinq parties. La première partie aborde l'étude de la lame de verre. Les deuxième, troisième et quatrième parties cherchent à déterminer n et e par une méthode d'optique géométrique. La cinquième partie traite d'une méthode interférentielle.

Première partie - lame de verre

Une lame transparente est caractérisée par son épaisseur e et l'indice n du milieu qui la compose. On cherche à caractériser ce dioptre dans le cadre de l'optique géométrique.

- II.1 Donner un ordre de grandeur de l'indice du verre.
- II.2 Rappeler les relations de Snell-Descartes à la réfraction.
- II.3 Effectuer un rapide tracé de rayon sur la figure A1 (document réponse) afin de trouver graphiquement la position de A' image de A par la lame.
- II.4 Effectuer, de même, un rapide tracé de rayon sur la figure A2 (document réponse) avec un point objet A virtuel.
- II.5 Montrer, par des considérations géométriques, que la relation de conjugaison qui relie A et A' est donnée dans les conditions de Gauss par :

$$\overline{AA'} = e \left(1 - \frac{1}{n} \right).$$

Deuxième partie - Viseur

On étudie un viseur à frontale fixe (figure 6) constitué par :

- un objectif \mathcal{L}_2 de centre O_2 , de distance focale $f'_2 = 50$ mm ;
- un réticule gradué R_{oc} ;
- un oculaire modélisé par une lentille convergente \mathcal{L}_1 de centre O_1 et de distance focale $f'_1 = 50$ mm .

On règle la lunette afin d'avoir, pour l'objectif, un grandissement transversal $\gamma_{ob} = \left(\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \right)_{ob} = -2$.

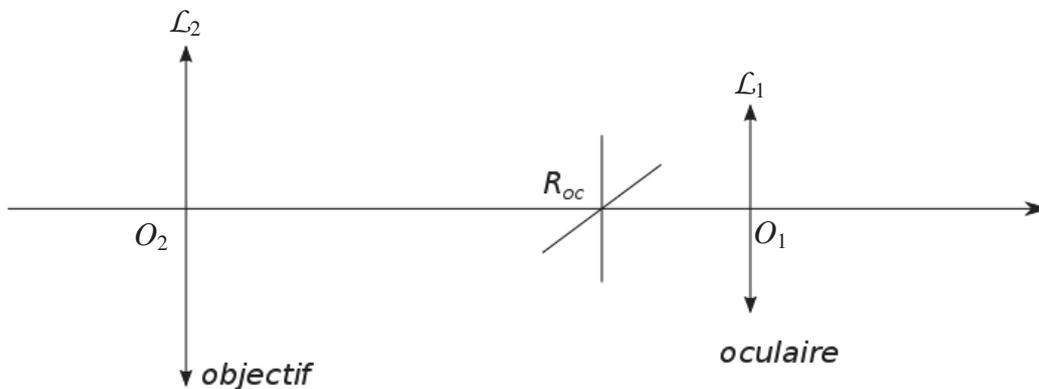


Figure 6 - Schéma d'un viseur à frontale fixe.

- II.6 Comment règle-t-on l'oculaire par rapport au réticule ?
- II.7 Préciser la position $\overline{F_2A}$ de l'objet visé par rapport à l'objectif en fonction de γ_{ob} et f'_2 . On utilisera l'une des relations de grandissement (2). Faire l'application numérique.
- II.8 Déterminer l'encombrement $\overline{O_2O_1}$ de la lunette en fonction de f'_1 , γ_{ob} et f'_2 . Effectuer l'application numérique.
- II.9 Valider vos résultats par un tracé de rayons justifiés sur la figure B (document réponse). Compléter la figure avec la présence du réticule R_{oc} et de la lentille \mathcal{L}_1 .
- II.10 Citer une application de ce type de viseur.

Troisième partie - Description du dispositif expérimental

On complète le dispositif de lunette à frontale fixe précédent par :

- un miroir plan \mathcal{M}_0 centré sur M_0 et orthogonal à l'axe optique ;
- une lame semi-réfléchissante \mathcal{L}_s centrée sur L_s et inclinée à 45° : $\overline{O_2L_s} = 50 \text{ mm}$;
- un miroir plan \mathcal{M}_i centré sur M_i et incliné à 45° : $\overline{M_iL_s} = 100 \text{ mm}$;
- une lentille \mathcal{L}_3 convergente de distance focale f'_3 : $f'_3 = 150 \text{ mm}$;
- un **objet** constitué d'un réticule **mobile** R dont la **position** est **mesurable**.

L'ensemble $(\mathcal{L}_2, \mathcal{L}_3)$ forme un **système afocal** (figure 7).

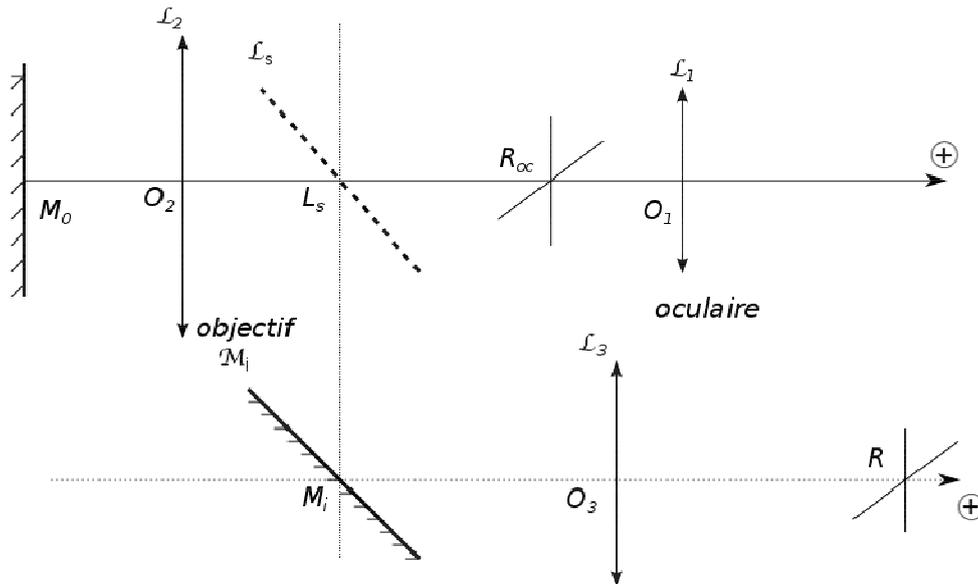


Figure 7 - Schéma du dispositif expérimental.

Analyse du système additionnel

- II.11.a)** Tracer symboliquement sur la figure C (document réponse) le trajet de la lumière issue de R et émergeant de l'oculaire.
- II.11.b)** L'association de la lentille \mathcal{L}_2 avec la lame semi réfléchissante \mathcal{L}_s , le miroir \mathcal{M}_i et la lentille \mathcal{L}_3 forme un système afocal.
Définir la notion de système afocal.
Quelle doit être la distance $\overline{M_iO_3}$ en fonction de f'_3 , f'_2 , $\overline{O_2L_s}$ et $\overline{M_iL_s}$ afin de réaliser cette condition ? Faire l'application numérique.
- II.11.c)** On note R' l'image de R par l'ensemble du système additionnel constitué par \mathcal{L}_3 , \mathcal{M}_i , \mathcal{L}_s et \mathcal{L}_2 .



Figure 8 - Image R' de R par le système optique.

On sera attentif à l'algébrisation de l'axe optique et au sens effectif de propagation de la lumière.

Etablir, en fonction de f'_2 et f'_3 , la relation liant la position $\overline{F'_3R}$ de l'objet R par rapport au foyer image de \mathcal{L}_3 à celle de son image R' donnée par $\overline{F'_2R'}$.

- II.11.d)** On place l'objet R tel que $\overline{O_3R} = 150$ mm, comme sur la figure 7. Où se trouve son image $\overline{O_2R'}$ par le système optique $(\mathcal{L}_3, \mathcal{M}_i, \mathcal{L}_s, \mathcal{L}_2)$?
- II.11.e)** Quel est son grandissement transversal ?

On utilise une méthode d'**autocollimation** à l'aide du miroir plan \mathcal{M}_0 , placé devant l'objectif à la distance $\overline{O_2M_0} = \overline{O_2F_2} = -50$ mm.

Attention : la lunette est réglée en frontale fixe comme dans la deuxième partie.

On éclaire le réticule R par rapport à la question précédente. Il donne une nouvelle image R' par le système optique $(\mathcal{L}_3, \mathcal{M}_i, \mathcal{L}_s, \mathcal{L}_2)$. R' sert alors d'objet au système (miroir \mathcal{M}_0 , lunette de visée). On obtient une image R'' que l'on désire superposer à R_{oc} . On observe à travers l'oculaire l'image nette de 2 réticules (R_{oc} et R'').

- II.12.a)** Déterminer la position particulière d_0 du réticule R telle que $d_0 = \overline{F_3'R}$.
Exprimer ce résultat en fonction de $\overline{F_2A}$, f_2' et f_3' .
- II.12.b)** On éloigne le miroir \mathcal{M}_0 de l'objectif d'une distance e . Sa position M_{01} est telle que $\overline{O_2M_{01}} = \overline{O_2F_2} - e$.
Afin de préserver une image nette à travers l'oculaire, on doit déplacer d'une valeur ε_1 le réticule R . La nouvelle position du réticule R est d_1 telle que $d_1 = \overline{F_3'R_1} = d_0 + \varepsilon_1$.
Déterminer le déplacement ε_1 en fonction de e , f_2' et f_3' .
- II.12.c)** Quel est l'intérêt du système étudié ?
- II.12.d)** Que dire du rapport entre les échelles sur les deux réticules ?

Quatrième partie - Application à la caractérisation d'une lame d'épaisseur e et d'indice n

- II.13** Le miroir \mathcal{M}_0 et le réticule R sont placés initialement de telle sorte que :
 $\overline{O_2M_0} = \overline{O_2F_2} = -50$ mm, $d_0 = \overline{F_3'R}$.
De par le retour inverse de la lumière, on obtient le schéma de la figure 9.

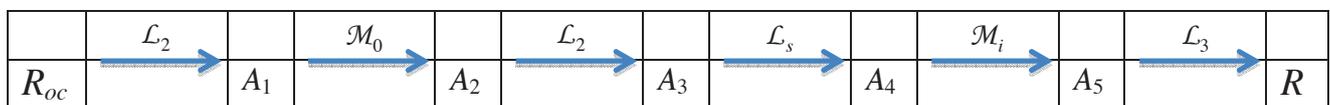


Figure 9 - Schéma du système optique.

On intercale la lame d'indice n d'épaisseur e entre le miroir \mathcal{M}_0 et l'objectif \mathcal{L}_2 .

- II.13.a)** Analyser la composition du système optique à l'aide d'un schéma synoptique.
- II.13.b)** La position de la lame a-t-elle une influence ?
- II.13.c)** Montrer que le déplacement du réticule R vers une position d_2 , telle que $d_2 = \overline{F_3'R''} = d_0 + \varepsilon_2$, permet de retrouver une image nette.
- II.13.d)** Exprimer ε_2 fonction de e , n , f_2' et f_3' .
- II.13.e)** On donne $e = 0,1$ mm et on mesure $\varepsilon_2 = 0,6$ mm. Quel est l'indice n de la lame ?
- II.14** Proposer une méthode utilisant ce système afin de trouver une autre équation reliant n et e .

Questions II.3 et II.4.

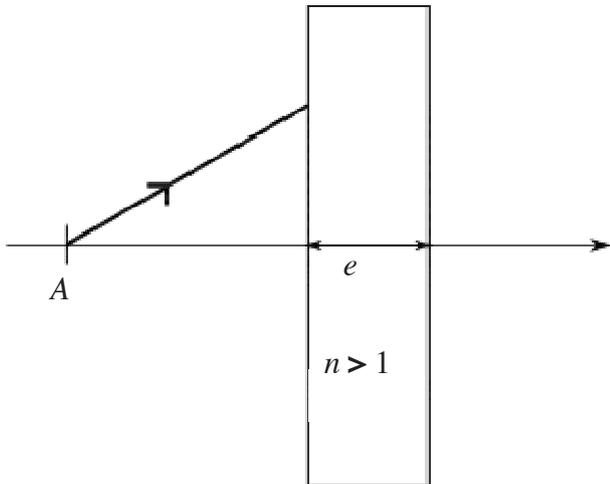


Figure A1

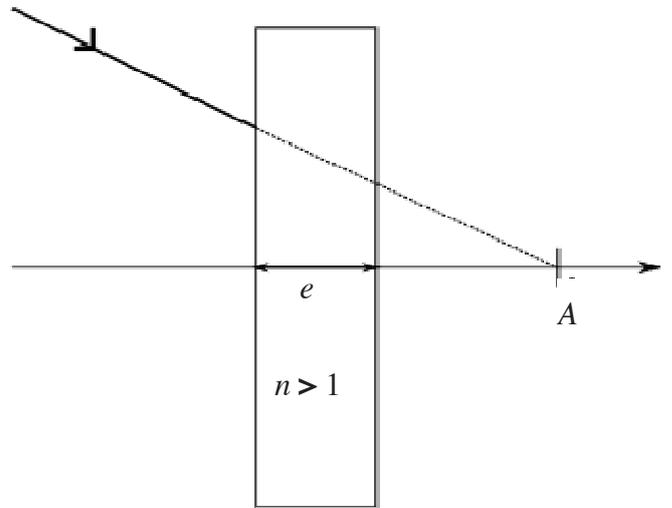


Figure A2

Question II.9

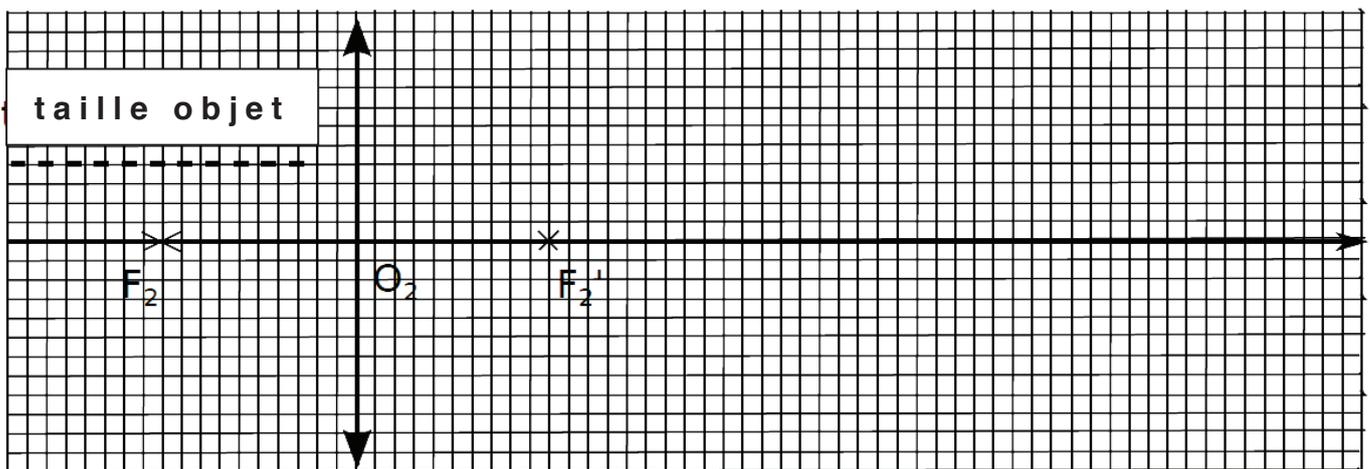


Figure B

Question II.11.a)

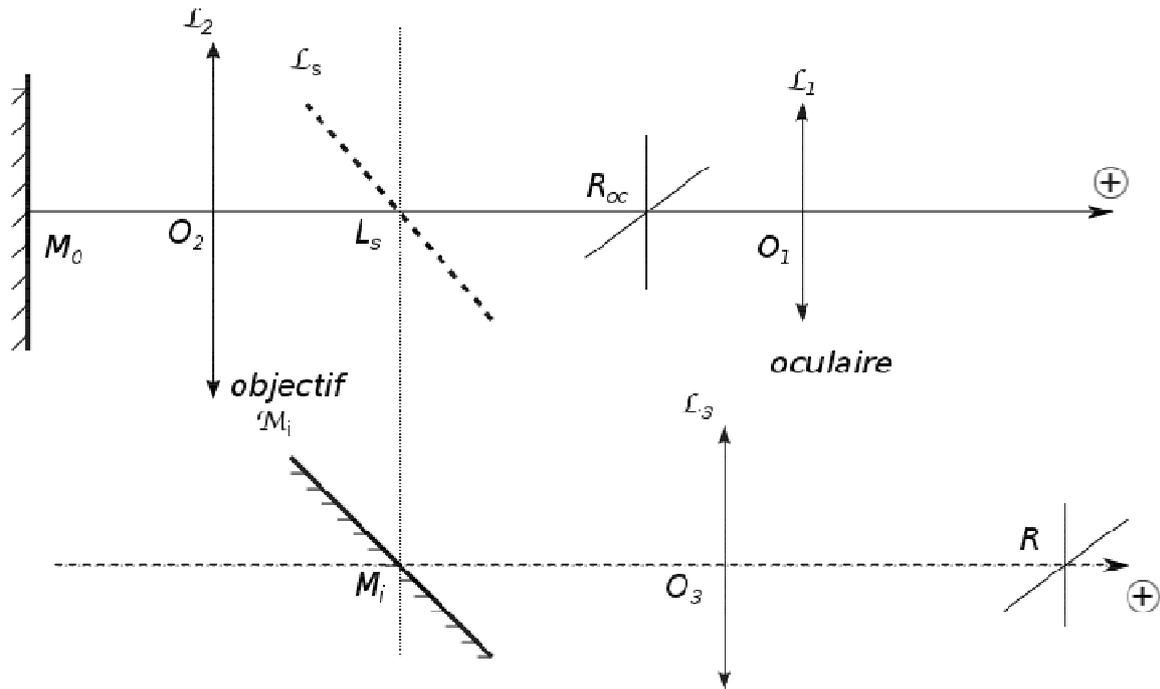
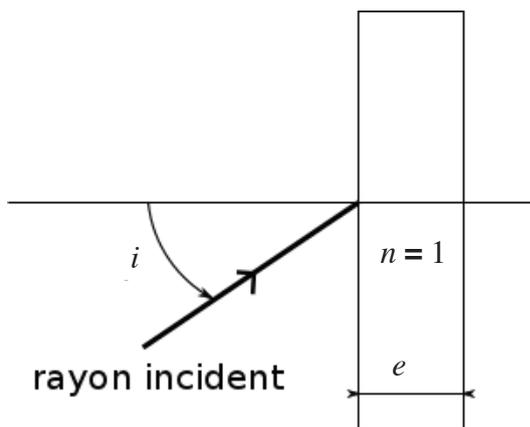


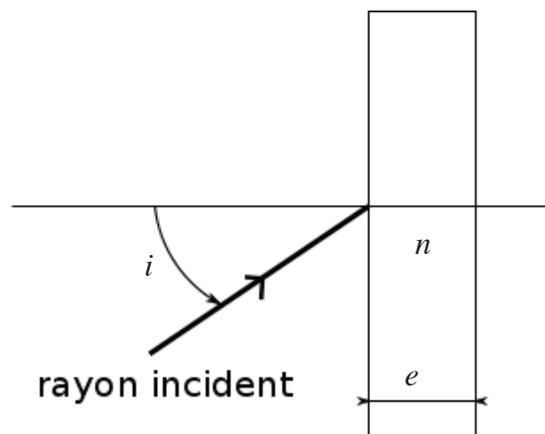
Figure C

Question II.15.a)



Lame d'air en réflexion

Figure D1



Lame de verre en réflexion

Figure D2