

Physique - Devoir Surveillé 1

Le 27/09/2025

Ce sujet comporte 6 pages (dont deux d'annexe, à rendre). Il est fortement conseillé de le parcourir intégralement avant de commencer à composer. Toutes vos réponses doivent impérativement être **encadrées**. De même il est de votre devoir de vérifier que ces résultats sont **homogènes**.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Barème approximatif :

- Exercice I : 5 points
- Exercice II : 6 points
- Exercice III : 20 points
- Soin, rigueur et rédaction : 4 points

On rappelle de plus la relation de conjugaison de Descartes pour une lentille de centre O et de distance focale f' , faisant l'image (notée A') d'un objet (noté A) sur l'axe optique :

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

avec $p' = \overline{OA'}$ et $p = \overline{OA}$. De même, le grandissement, rapport de la taille d'une image sur celle de l'objet, est donné par

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{p'}{p}$$

I Le pendule

Un pendule simple est constitué d'un fil de longueur l au bout duquel est attaché une masse m . Nous verrons plus tard dans l'année que celui-ci oscille à une fréquence f_0 que nous allons chercher à déterminer.

Dans cet exercice, on suppose que les grandeurs pertinentes sont l , m et g l'accélération de la pesanteur.

1. Quelle est la dimension de g ?
2. On suppose que la fréquence peut s'écrire sous la forme :

$$f_0 = A \times l^\alpha m^\beta g^\gamma,$$

où α , β et γ sont des nombres inconnus et où A est une constante inconnue sans dimension. En utilisant le fait que cette formule doit être homogène, déterminer α , β et γ .

3. Que doit-on faire si on veut doubler la fréquence d'oscillation du pendule ?
4. Que doit-on faire si on veut diviser par 2 la fréquence d'oscillation du pendule ?
5. Comment peut-on déterminer la constante A ?

II Construction graphique de foyers et d'images

On considère un doublet composé de deux lentilles convergentes (L_1) et (L_2).

Aucun calcul n'est demandé dans cet exercice. Les traits de construction servent de justification, on s'appliquera à les faire apparaître.

1. Déterminer graphiquement sur la figure 1 en annexe la position du foyer principal image F' du doublet.
2. Déterminer graphiquement sur la figure 1 en annexe la position du foyer principal objet F du doublet.
3. On considère un objet AB placé devant le doublet. Construire sur la figure 2 l'image $A''B''$ de AB par le doublet. On construira au préalable l'image intermédiaire $A'B'$.

III Étude d'une paire de jumelles

Le sujet est constitué de plusieurs parties largement indépendantes.

Démontée, une paire de jumelles se trouve être constituée d'éléments optiques assez simples : des lentilles convergentes et divergentes ainsi que des prismes dans la zone masquée (figure III.1a).

On s'intéresse, en premier lieu, aux groupes de lentilles (extraits de l'ensemble sur la figure III.1b) que nous modéliserons, en entrée et en sortie, par des lentilles minces convergentes. La modélisation est présentée en figure III.1c. On note f'_1 et O_1 (respectivement f'_2 et O_2) la distance focale image et le centre de l'objectif (respectivement de l'oculaire).

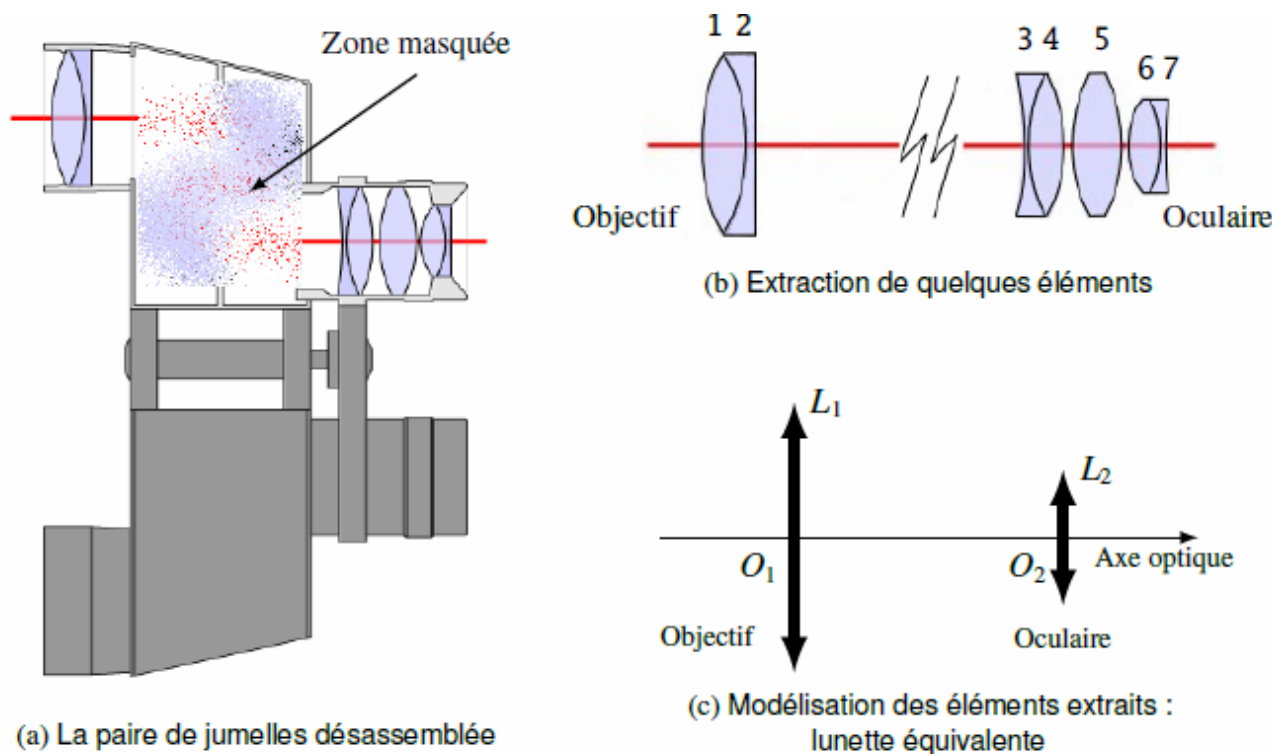


FIGURE III.1 – La paire de jumelles et sa modélisation

L'examen de la notice d'une paire de jumelles nous permet d'obtenir les informations rassemblées dans le tableau ci-dessous, dont certaines seront explicitées plus loin si nécessaire.

Grossissement	$\times 7$	Diamètre de l'objectif	50 mm
Angle de visée	$7,3^\circ$	Champ de vision	127 m à 1000 m
Distance minimale de mise au point	10,6 mm	Pupille de sortie	7,14 mm
Dégagement oculaire	12 mm	Longueur	185 mm

Notre but est de déduire des données constructeur figurant dans le tableau, les ordres de grandeur des caractéristiques optiques de ce système.

Dans tout le problème, on suppose que $f'_2 = u$ et $f'_1 = 7f'_2 = 7u$ où u est une longueur de référence à déterminer. Différents modèles seront proposés et permettront de déterminer plusieurs valeurs différentes de u .

III.A Les éléments du modèle

1. Définir la notion de lentille sphérique mince.
2. Identifier par leur numéro (cf fig III.1b) les lentilles convergentes et les lentilles divergentes.
3. Proposer une méthode de détermination rapide du caractère convergent ou divergent d'une lentille ne portant aucune indication. Justifier à l'aide d'une représentation graphique.
4. Ces lentilles sont utilisées dans les conditions de l'approximation de Gauss. Quelles sont ces conditions ? Quelles sont les conséquences sur le système optique si elles sont respectées ?
5. Définir ce qu'est l'aberration chromatique. Une lentille est-elle sensible à cette aberration ? Toute réponse non justifiée sera comptée comme nulle.

III.B Encombrement de la lunette équivalente

- La lunette équivalente est réglée de manière à constituer un système afocal. Préciser ce que cela signifie. Quel avantage présente ce réglage pour un être humain ?
- En déduire l'expression de ce qu'on appelle *la longueur* ou *l'encombrement* $e = \overline{O_1O_2}$ en fonction de f'_1 et f'_2 , puis en fonction de u .
- Pour quelle valeur u_1 de u y-a-t-il accord avec les données du constructeur ?
- Sur le document réponse, on considère un objet à l'infini en dehors de l'axe optique, émettant des rayons parallèles faisant un angle orienté α avec l'axe optique. Placer la lentille \mathcal{L}_2 afin que le système soit afocal. On placera l'objectif \mathcal{L}_1 à gauche de l'oculaire \mathcal{L}_2 . Compléter ce schéma et y ajouter l'angle **orienté** α' entre l'axe optique et les rayons émergents du doublet de lentilles. La construction géométrique sera clairement explicitée.
- En déduire l'expression algébrique du grossissement $G = \alpha'/\alpha$ en fonction de f'_1 et f'_2 . On rappelle que l'on travaille dans les conditions de Gauss. Commenter le signe de G .

III.C Le cercle oculaire

Le cercle oculaire délimite une surface particulière située dans un plan transverse de l'espace image. C'est au niveau du cercle oculaire qu'est concentré un maximum de lumière.

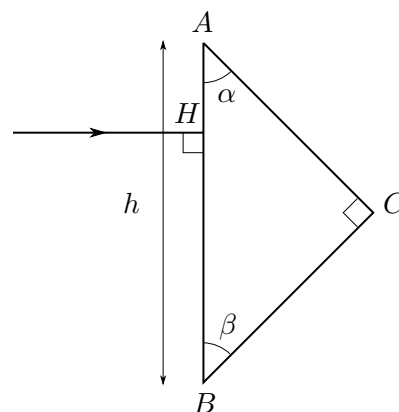
Il s'agit de l'image de la monture de l'objectif à travers l'oculaire. La lunette équivalente est toujours réglée de manière à avoir un système afocal.

- On note C la position du cercle oculaire sur l'axe optique. Déterminer l'expression de $\overline{O_2C}$ en fonction de f'_1 et f'_2 .
- Exprimer $\overline{O_2C}$ en fonction de u .
- Le constructeur appelle *dégagement oculaire* ou *relief de l'œil* la distance entre l'œil et la première lentille (l'oculaire). En pratique, afin de récupérer une intensité lumineuse maximale, on positionne l'œil au niveau du cercle oculaire, en C . Dans cette position, en déduire la valeur u_2 de u .
- On note D le diamètre de l'objectif et d celui du cercle oculaire. Exprimer d'abord la valeur absolue du grandissement $|\gamma|$ en fonction de D et d , puis en fonction de f'_1 et f'_2 . En déduire l'expression de d en fonction de D , f'_1 et f'_2 . Faire l'application numérique.
- Préciser quelle caractéristique de l'œil humain pourrait intervenir dans les choix effectués par le constructeur pour fixer la taille du cercle oculaire. S'agit-il d'une paire de jumelles destinée à être utilisée par grande ou faible luminosité ? Justifier.

III.D Étude du dispositif redresseur à prismes

On insère un dispositif redresseur, appelé *véhicule*, entre l'objectif et l'oculaire. Il peut s'agir d'un système de lentilles ou de prismes. Nous allons nous intéresser à un système à prismes, celui inventé par Ignazio Porro à la fin du XIX^e siècle.

On considère un prisme d'indice n plongé dans de l'air d'indice supposé égal à 1. Ce prisme est isocèle et à angle droit en C . On note h la longueur de l'hypoténuse. Un rayon incident arrive perpendiculairement à l'hypoténuse.

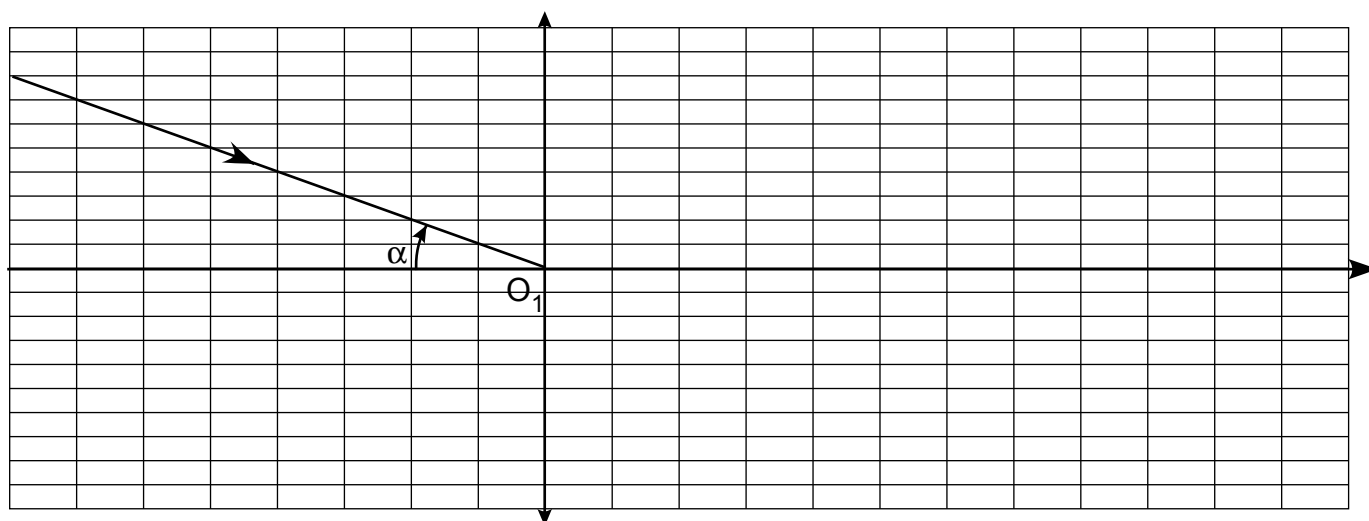


- Sur le document réponse, tracer les rayons réfléchis et réfractés au niveau des faces AC et CB , ainsi que le rayon émergent par la face AB . On notera sur la figure I le point d'incidence sur la face AC , J le point d'incidence sur la face CB , i_1 l'angle d'incidence en I , i_2 l'angle d'incidence en J , r_1 l'angle de réfraction en I , r_2 l'angle de réfraction en J , i'_1 l'angle de réflexion en I et i'_2 l'angle de réflexion en J . On considèrera ces angles comme arithmétiques, c'est-à-dire non orientés.

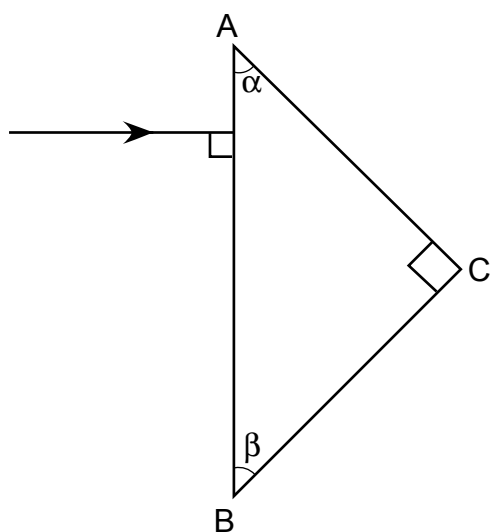
17. Donner la valeur de i_1 .
18. Exprimer i'_1 en fonction de i_1 , ainsi que i'_2 en fonction de i_2 .
19. Quelle est la valeur de i_2 ? Conclure sur la direction du rayon émergent par la face AB .
20. On suppose que les rayons réfractés en I et J existent. Exprimer r_1 en fonction de i_1 et n . Exprimer r_2 en fonction de i_2 et n .
21. Afin que toute l'intensité lumineuse soit réfléchie, on souhaite se placer dans les conditions de réflexion totale. En considérant toujours que le rayon incident arrive perpendiculairement à l'hypoténuse, trouver l'inégalité vérifiée par n pour qu'il y ait réflexion totale.
22. Dans le cas de la réflexion totale, démontrer que la distance géométrique parcourue par le rayon lumineux dans le prisme vaut h , longueur de l'hypoténuse.
23. Dans le cas de la réflexion totale, le prisme revient alors à un système constitué de deux miroirs plans orthogonaux. On considère que l'arête du prisme est verticale. On prend un objet GD , où G correspond à la gauche de cet objet et D la droite. Sur le document réponse, tracer l'image $G'D'$ de GD à travers les deux miroirs. Tracer le rayon émergent correspondant au rayon incident issu de D déjà tracé.

Annexe

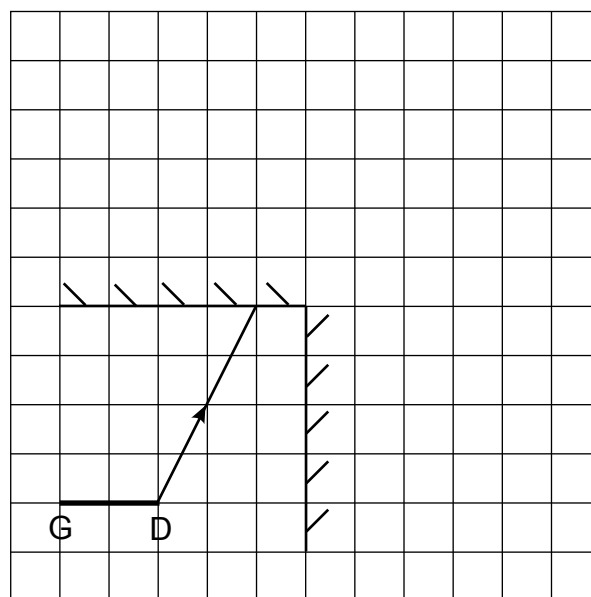
Question 9



Question 16



Question 23



Pour l'exercice II.

Figure 1 : Détermination graphique des foyers principaux F et F' du doublet

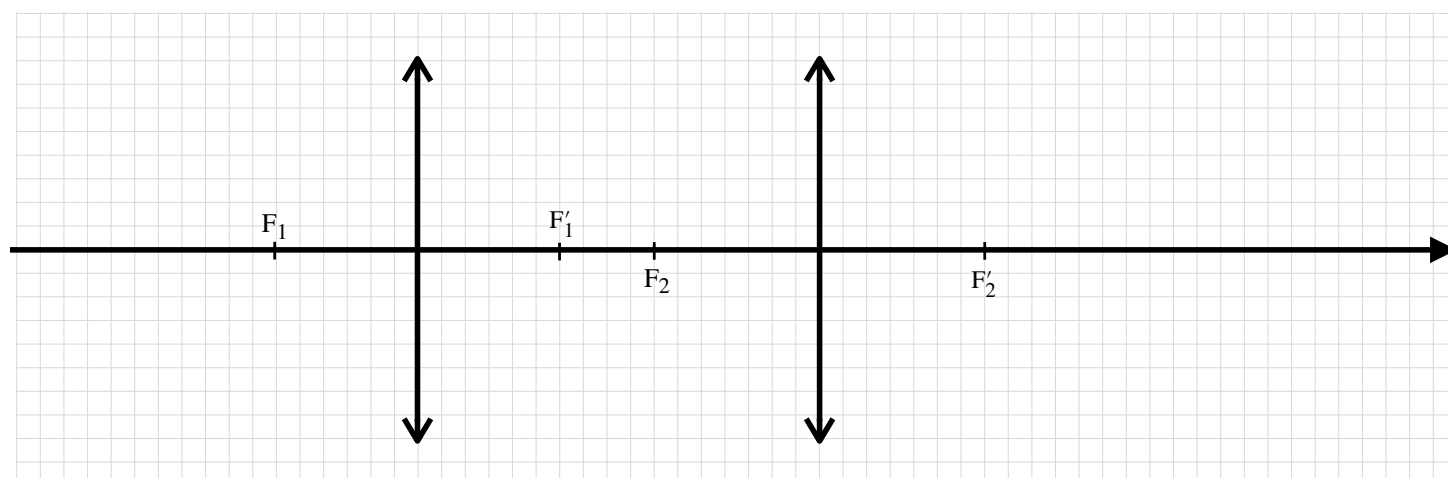
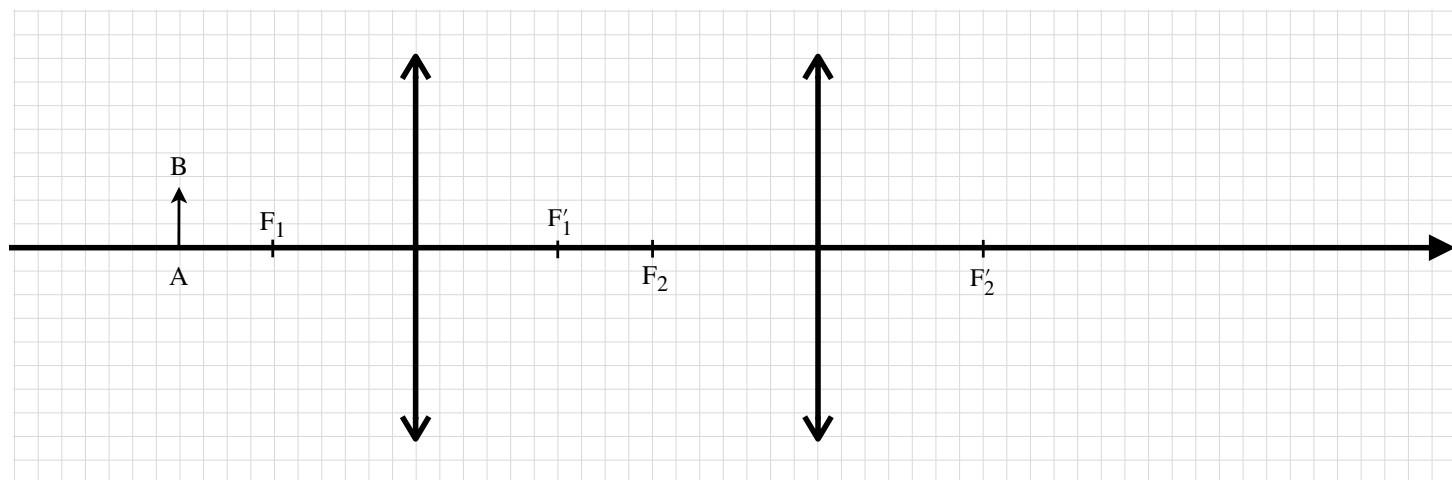
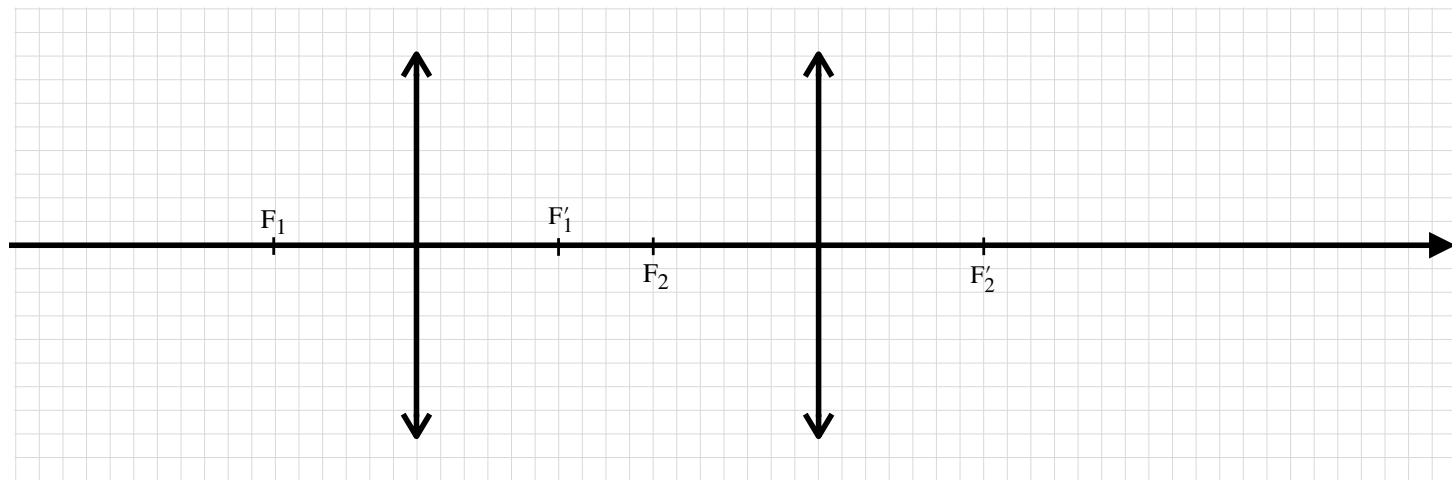


Figure 2 : Construction de $A'B'$ et $A''B''$ 

Versions de secours

Figure 1 : Détermination graphique des foyers principaux F et F' du doublet

Figure 2 : Construction de $A'B'$ et $A''B''$ 