Problème 1 Mesure d'une focale à l'aide d'un œil myope

A Généralités

On rappelle les relations de conjugaison d'une lentille mince de centre O et de distance focale f' dans **les conditions de Gauss** :

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

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2$$

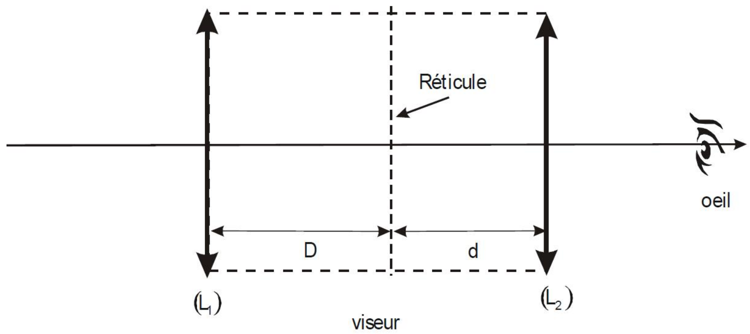
A.1 Préciser la signification des conditions de Gauss et l'intérêt d'être dans cette hypothèse.

A.2 Construire l'image d'un objet réel AB par une lentille convergente et en déduire que le grandissement γ s'écrit $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$.

B Étude d'un viseur à frontale fixe

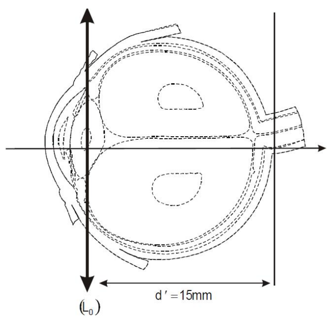
Un viseur à frontale fixe est constitué :

- d'un objectif, constitué d'une lentille mince L_1 convergente de centre O_1 et de distance focale image $f'_1 = 7,0$ cm,
- d'un réticule distant d'une distance $D = 14$ cm de l'objectif,
- d'un oculaire constitué d'une lentille mince L_2 convergente de centre O_2 et de distance focale image $f'_2 = 3,0$ cm, située à la distance d du réticule.



B.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 au travers de la lentille (L_2).

B.2 Un œil myope est modélisable par une lentille L_0 convergente dont le centre optique O est placé à $d' = 15$ mm de la rétine, modélisé par un écran. Sa faculté d'accommodation lui permet d'adapter sa focale : il obtient une image nette lorsque l'objet est situé à une distance comprise entre $d_1 = 12$ cm (punctum proximum) et $d_2 = 1,2$ m (punctum remotum) de L_0.



B.2.1 Quelle doit être la valeur de la focale image f'_0 de L_0 pour obtenir une image nette sur la rétine d'un objet situé à une distance $d_1 = 12$ cm (punctum proximum) devant l'œil ?

B.2.2 Quelle doit être la valeur de la focale image f'_0 de L_0 pour obtenir une image nette sur la rétine d'un objet situé à une distance $d_2 = 1,2$ m (punctum remotum) devant l'œil ?

B.2.3 Déterminer graphiquement, dans le cadre de l'approximation de Gauss, les positions des foyers image, F' et objet F de la lentille sur la figure 1 donnée en annexe et à rendre avec la copie.

B.3 On accole l'œil myope à l'oculaire. On admettra que l'œil accommode à son punctum remotum.

B.3.1 Où doit se trouver l'image définitive à la sortie du viseur ?

B.3.2 En déduire la nouvelle distance d entre le réticule et l'oculaire.

B.4 On cherche à voir simultanément l'objet visé et le réticule.

B.4.1 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.4.2 Cette position dépend-elle de la nature de l'œil (« normal » ou myope) ?

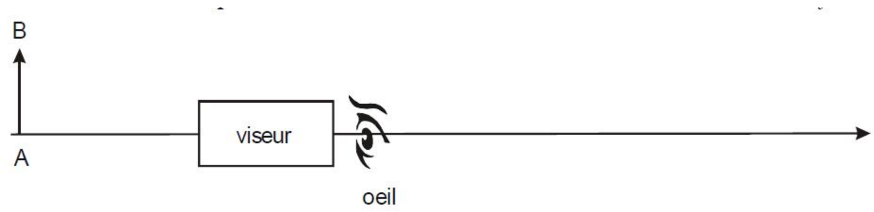
B.4.3 Lorsqu'un œil « normal » n'accommode pas, faire la construction de la position de l'objet sur la figure 2 en annexe et à rendre avec la copie. Rajouter sur le même dessin le tracé d'au moins deux rayons à travers l'instrument.

B.4.4 Justifier le nom de « viseur à frontale fixe ».

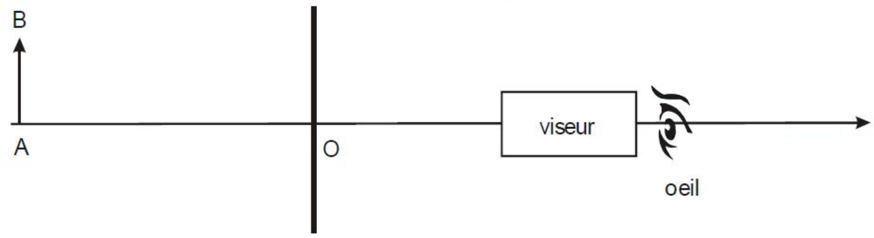
C Mesure de distances focales

Le viseur est utilisé pour mesurer la distance focale d'une lentille L de focale f' inconnue.

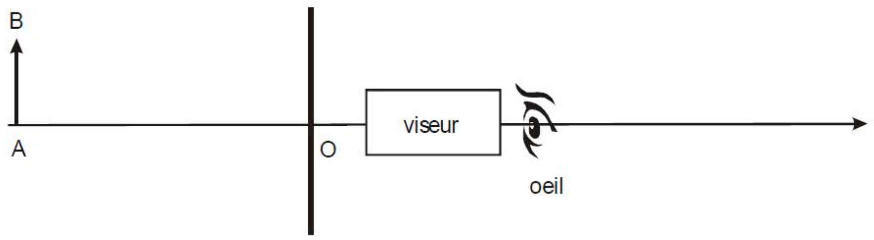
La première étape est la visée de l'objet, AB . On place ensuite la lentille inconnue après l'objet et on vise le centre O de la lentille. Pour cela, nous devons reculer le viseur de $x_1 = 20\ cm$. Pour la visée de l'image $A'B'$ à travers la lentille, nous avançons le viseur de $x_2 = 10\ cm$(voir figure ci-dessous).



Visée de l'objet



Visée de la lentille



Visée de l'image

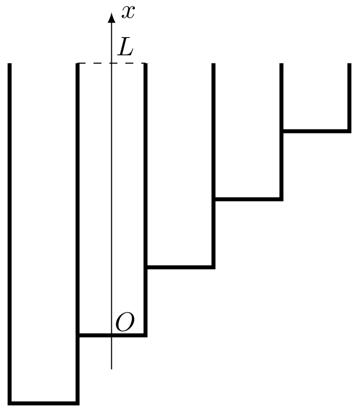
C.1 Préciser les valeurs algébriques $\overline{OA}$ et $\overline{OA'}$.

C.2 En déduire la distance focale f' de la lentille.

C.3 Faire la construction de l'image de l'objet AB à travers cette lentille inconnue L.

Problème 2 La flûte de Pan

La flûte de Pan est un instrument de musique à vent composé d'un ensemble de tuyaux sonores de longueurs différentes assemblés par des ligatures. Chaque tuyau possède une extrémité à l'air libre et l'autre est fermée.



Les sons émis sont produits par les vibrations des colonnes d'air contenues dans les différents tuyaux. La hauteur du son émis dépend de la longueur du tuyau : un long tuyau produit un son plus grave qu'un tuyau court.

Nous considérons l'un des tuyaux, fermé en $x = 0$ et ouvert en $x = L$ et cherchons une solution de type stationnaire pour la surpression acoustique dans ce tuyau : $p(x,t) = p_0 \cos(kx + \varphi)\cos(\omega t + \varphi')$ où ω est la pulsation de l'onde et $\lambda = \dfrac{2\pi}{k}$ sa longueur d'onde.

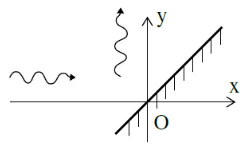
La célérité du son dans l'air est $c = 342\,\mathrm{m\,s^{-1}}$ dans les conditions d'utilisation de la flûte.

1. Qu'appelle-t-on nœuds et ventres de vibration ?
2. Montrer que deux nœuds ou deux ventres successifs sont distants de $\lambda/2$, un nœud et un ventre successifs étant distants de $\lambda/4$.
3. Nous admettons que $x = 0$ correspond à un ventre pour l'onde de surpression et $x = L$ à un nœud.
   - 3.a. Quelles sont les fréquences propres du tuyau ?
   - 3.b. Quelle longueur L doit posséder le tuyau pour émettre un Do_3 de fréquence 262 Hz ?

Problème 3 Réflexion d'une onde sonore sur un mur

On s'intéresse aux phénomènes acoustiques dans une salle de concert. On considère une onde acoustique plane se propageant dans l'air selon la direction $\overrightarrow{u_x}$ à la vitesse c. On note $p_i(x,t)$ la surpression associée à cette onde (c'est-à-dire l'écart de pression du à la perturbation par rapport à l'état de repos de l'air). On suppose que l'onde est sinusoïdale de pulsation ω et d'amplitude P_0.

L'onde se propage en direction d'un mur oblique qui est orienté selon la première bissectrice du plan (à 45° de chaque axe, cf schéma ci-contre), et qui passe par l'origine O du plan Oxy. Cet obstacle induit une onde réfléchie sinusoïdale et de même pulsation, qui se propage selon la direction $\overrightarrow{u_y}$. On la notera $p_r(y,t)$. La réflexion étant supposée parfaite (sans absorption), l'amplitude de l'onde réfléchie est égale à celle de l'onde incidente.



On rappelle la relation : $\cos p + \cos q = 2\cos(\frac{p+q}{2})\cos(\frac{p-q}{2})$.

1. Donner la forme explicite de la surpression $p_i(x,t)$. On choisira une phase nulle à l'origine $(x,t) = (0,0)$, et on introduira la norme du vecteur d'onde k en fonction des données de l'énoncé.
2. Dessiner sur votre copie les plans d'onde qui correspondent à une phase égale à $0[2\pi]$ à l'instant initial $t = 0$. Indiquer la distance qui les sépare en fonction de ω et c.
3. On admet que sur le mur, l'onde réfléchie est en phase avec l'onde incidente. Donner la forme explicite de la surpression $p_r(y,t)$.
4. Dessiner sur la figure de la question 2 les plans d'onde de l'onde réfléchie qui correspondent à une phase égale à $0[2\pi]$ à l'instant initial $t = 0$.
5. On considère que les faisceaux incident et réfléchi sont suffisamment étendus pour qu'il existe une région proche du mur où ils se superposent. Donner la forme explicite de la surpression totale $p(x,y,t)$ en la mettant sous la forme d'un produit de deux cosinus. De quel type de phénomène physique s'agit-il ?
6. Montrer qu'il existe des surfaces de l'espace où l'on entend aucun son qui vérifient l'équation : $y = x + \frac{\lambda}{2} + p\lambda$ où $p \in \mathbb{Z}$. Indiquer la forme de ces régions et les représenter sur le schéma.
7. Calculer la distance d entre deux de ces surfaces consécutives, qu'on exprimera en fonction de la longueur d'onde λ de l'onde incidente.
8. On suppose que l'onde incidente correspond au mode fondamental d'un La3 ($f = 440\,\mathrm{Hz}$) joué par un musicien. Évaluer numériquement la distance d. Commenter.

On donne la célérité du son dans l'air dans les conditions de l'expérience : $c = 340\,\mathrm{m\,s^{-1}}$.

Problème 4 Étude d'un microscope

On donne pour ce problème les formules de conjugaison : $\dfrac{1}{\overline{OA'}} - \dfrac{1}{\overline{OA}} = \dfrac{1}{f'}$ et $\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2$. Un microscope peut être modélisé par deux lentilles convergentes L_1 et L_2 alignées sur le même axe optique. L_1 modélise l'objectif et a une distance focale image $f'_1 = 2{,}0\,\text{mm}$. L_2 modélise l'oculaire et a une distance focale image $f'_2 = 30\,\text{mm}$. La distance Δ entre le foyer image F'_1 de L_1 et le foyer objet F_2 de L_2 vaut $\Delta = 16\,\text{cm}$. On rappelle que la distance minimale de vision distincte d'un œil normal vaut $d_m = 25\,\text{cm}$. C'est la plus petite distance entre l'œil et un objet pour laquelle on peut voir l'objet net (limite d'accommodation). D'autre part un œil normal voit net sans accommoder si l'objet est à l'infini. On observe à l'aide du microscope un petit objet AB, A étant placé sur l'axe optique et AB perpendiculaire à l'axe optique. L'œil est placé sur l'axe optique après l'oculaire.

A Préliminaires

A.1 Construire l'image d'un objet AB réel par une lentille convergente de distance focale f' et de centre O tel que $-2f' < \overline{OA} < -f'$. Caractériser l'image obtenue.

A.2 À partir des rayons lumineux passant par les foyers de la lentille et du théorème de Thales montrer que le grandissement d'une lentille peut s'écrire telle que $\gamma = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \dfrac{\overline{f'}}{\overline{FA}}$ et
$\gamma = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\dfrac{\overline{F'A'}}{f'}$.

A.3 Proposer deux méthodes permettant de mesurer la distance focale d'une lentille mince convergente. Décrire les protocoles expérimentaux et donner les avantages et les inconvénients de ces deux méthodes.

B Positionnement de l'objet

B.1 Où doit être placé A pour que l'œil observe AB à travers le microscope sans accommoder ? Faites l'application numérique.

B.2 Soient deux rayons parallèles émergents du microscope par L_2. Dessiner leur trajet à travers le microscope et trouver ainsi graphiquement la position de AB. Pour le dessin sur votre copie, vous prendrez $f'_1 = 2{,}0\,\text{cm}$, $f'_2 = 4{,}0\,\text{cm}$, $\Delta = 6{,}0\,\text{cm}$ et des rayons émergents faiblement inclinés par rapport à l'axe optique.

La latitude de mise au point est l'intervalle des positions de l'objet par rapport au microscope tel que l'image soit visible par l'œil de façon nette, ce qui correspond à une distance d'observation pour l'œil comprise entre la distance minimale de vision distincte d_m (au ponctum proximum) et l'infini (au ponctum remotum).

B.3 On suppose pour cette question qu'un œil normal est placé sur l'axe optique après l'oculaire en F'_2. Calculer la latitude de mise au point de ce microscope. Commenter.

C Expression du grossissement

On considère dans la suite du problème que l'image de l'objet par le microscope est à l'infini.

C.1 Sous quel angle maximal θ_0 un œil normal voit-il AB sans le microscope ?

C.2 Montrer que l'angle θ sous lequel l'œil voit AB avec le microscope s'écrit $\theta = \dfrac{AB \cdot \Delta}{f'_1 f'_2}$.

C.3 On définit le grossissement G par $G = \dfrac{\theta}{\theta_0}$. Calculer G en fonction de Δ, d_m, f'_1 et f'_2 puis faire l'application numérique.

D Position de l'œil

D.1 Le cercle oculaire est l'image de la monture L_1 par L_2. Son centre C est sur l'axe optique. Faire une figure puis expliquer pourquoi on doit placer son œil au niveau du cercle oculaire.

D.2 Quels points la lentille L_2 conjugue-t-elle ? En déduire la distance F'_2C.

D.3 Quel est le diamètre D' du cercle oculaire sachant que le diamètre de la monture de L_1 vaut $D = 1{,}1\,\text{cm}$? Commenter.

E Pouvoir de résolution du microscope

E.1 Comme la rétine est discontinue, granulaire, l'œil ne peut distinguer deux rayons lumineux l'un de l'autre s'ils font entre eux un angle inférieur à $\varepsilon = 1{,}5$ minutes d'arc (1 minute d'arc$=\frac{1}{60}°$). Quelle est la taille du plus petit objet AB que l'on pourra distinguer ? On donnera son expression en fonction de Δ, ε, f'_1 et f'_2. Faire l'application numérique.

Document annexe : Problème 1

Nom :

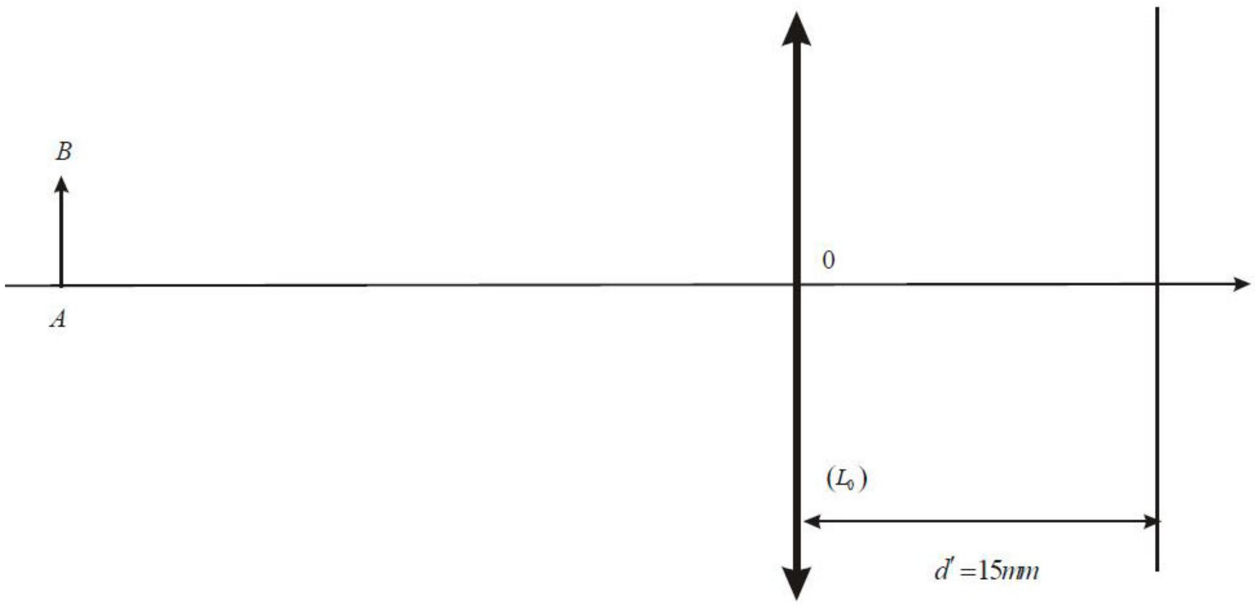


figure 1

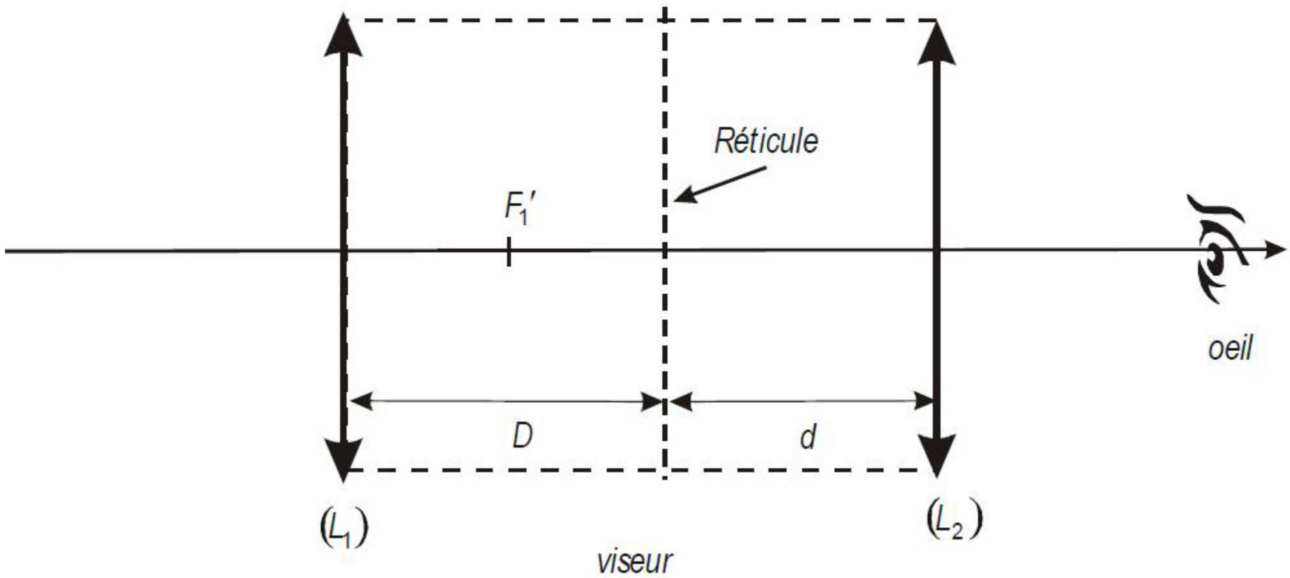


figure 2