



Instruments optiques



exercice sera corrigé en TD ;



exercice classique / important ; à maîtriser pour les concours ;



niveau de difficulté de l'exercice.

Parcours d'entraînement :

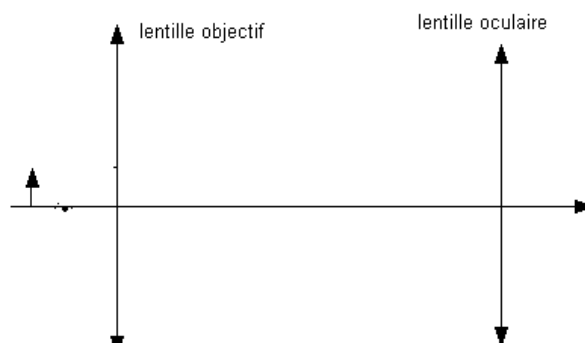
Révisions et approfondissements des chapitres O1 et O2 : toute la fiche à faire !

Exercice 1 : Microscope



Un microscope simplifié est constitué de deux lentilles minces convergentes (figure ci-dessous) : une lentille d'entrée L_1 (objectif) et une lentille M_2 (oculaire). Leurs distances focales respectives sont $f'_1 = 5,0 \text{ mm}$ et $f'_2 = 20 \text{ mm}$. La distance Δ séparant le foyer image de ML_1 et le foyer objet de M_2 est appelé intervalle optique. On prendra ici $\Delta = \overline{F'_1 F_2} = 17 \text{ cm}$.

Le microscope est réglé de manière à limiter la fatigue visuelle de l'utilisateur : l'image $A'B'$ définitive se situe donc à l'infini, ainsi, l'œil de l'observateur n'accomode pas. Celui-ci est placé proche du foyer image de l'oculaire.



- ① En utilisant les relations de conjugaison, déterminer la position de l'objet à observer.
- ② Faire une construction géométrique pour un objet AB perpendiculaire à l'axe optique et tracer la marche de deux faisceaux lumineux particuliers issu de B .
- ③ Calculer le grandissement γ_1 de l'objectif (L_1).
- ④ En sortie du microscope, les rayons ressortent à l'infini avec un certain angle α' par rapport à l'axe optique. En considérant celui-ci petit, exprimer α' en fonction de Δ , f'_1 , f'_2 et AB la taille de l'objet.
- ⑤ L'observation à l'œil nu de l'objet à la distance minimale de vision nette $d_m = 25 \text{ cm}$ est faite sous un angle α . En considérant α petit, déterminer celui-ci en fonction de d_m et AB . En

déduire le grossissement commercial du microscope défini par $G_c = \frac{\alpha'}{\alpha}$ du microscope et la puissance intrinsèque du microscope définie par le rapport : $P_i = \frac{G_c}{d_m}$.

Exercice 2 : Pouvoir séparateur de l'œil



d'après E. Thibierge

Le pouvoir séparateur d'un œil emmétrope (normal) est $\theta_0 = 3 \times 10^{-4}$ rad, c'est-à-dire que deux points ne peuvent être vus distinctement que si leur écart angulaire est supérieur à cette valeur.

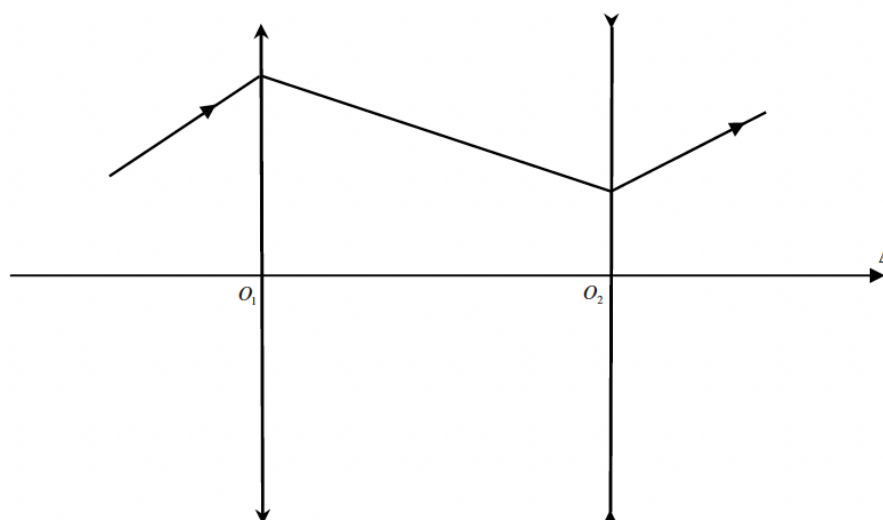
- ① Déterminer la distance jusqu'à laquelle cet œil peut distinguer deux traits parallèles séparés de 2 mm.
- ② Déterminer la hauteur que doit avoir une lettre d'un panneau autoroutier pour être lisible à 250 m.
- ③ En modélisant l'œil comme une lentille convergente associée à un écran placé à une distance fixe de 20 mm derrière, déterminer la taille moyenne d'un récepteur de la rétine.

Exercice 3 : Image d'un objet par une lentille



d'après C. Garing

Un doublet de deux lentilles minces L_1 (convergente) et L_2 (divergente), de centre O_1 et O_2 est représenté ci-dessous. Sur la gauche un rayon incident pénètre dans le système et émerge sur la partie droite, la figure est à l'échelle 1/1.



- ① Trouver graphiquement la position des foyers principaux objet et image de chaque lentille, notés respectivement F_1 et F'_1 pour L_1 et F_2 et F'_2 pour L_2 . On fera clairement apparaître la construction graphique.
- ② Définir le foyer principal objet F et le foyer principal image F' de l'ensemble du doublet. Déterminer graphiquement les positions de F et F' .

Exercice 4 : Téléobjectif



d'après A. Laffrique

Modélisons un téléobjectif d'appareil photo par une association de lentilles suivie d'un capteur CCD de taille $15,8 \times 23,6 \text{ mm}^2$. La lentille d'entrée est convergente, de vergence $5,0 \delta$. Une seconde lentille est présente entre la lentille d'entrée et le capteur, à $d = 15,5 \text{ cm}$ de la lentille d'entrée. Elle est divergente, de vergence -20δ .

La distance entre la lentille d'entrée de l'objectif et le capteur, notée habituellement Δ , est appelée encombrement du téléobjectif. Cet appareil est utilisé pour photographier un chamois de hauteur 80 cm au garrot situé à 150 m du photographe.

- ① En l'absence de la lentille divergente, quelle serait la taille de l'image du chamois sur le capteur ? Commenter.
- ② Quelle est en fait la taille de l'image formée par le système composé ?
- ③ Quel est alors l'encombrement du téléobjectif ?
- ④ Quelle serait la distance focale d'une lentille convergente qui donnerait à elle seule une image de la même dimension que la précédente ? En déduire ce que vaudrait l'encombrement du téléobjectif dans ce cas.

Exercice 5 : Rétroprojecteur



d'après E. Thibierge

Un rétroprojecteur est composé d'une lentille convergente de focale 30 cm suivie d'un miroir plan incliné. Le centre du miroir est situé à 15 cm du centre optique de la lentille.

Le centre du miroir se trouve à 3 m d'un écran vertical.

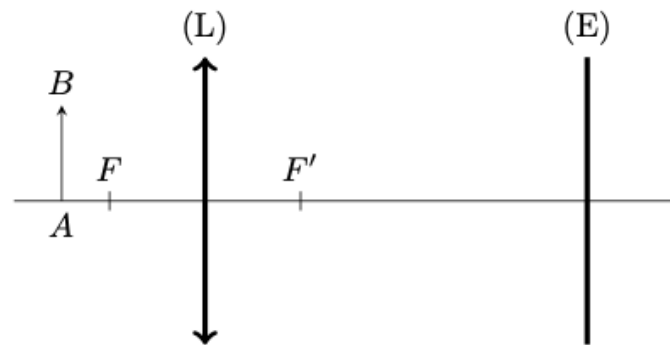
- ① À quelle distance du transparent à projeter faut-il placer la lentille ?
- ② Quelle est alors la taille à l'écran d'une lettre de hauteur 5 mm sur le transparent ?

Exercice 6 : Projecteur de cinéma



Oral CCP

Dans une salle de cinéma, on lit, à l'aide d'un projecteur, une pellicule AB de largeur b sur un écran (E) de largeur ℓ . On modélise le projecteur par une source lumineuse et une lentille convergente (L) de focale f_0 suivant le schéma ci-dessous, qui n'est pas représenté à l'échelle. On note d la distance de la pellicule à l'objectif et D celle de la pellicule à l'écran.



- ① Tracer l'image A_0B_0 de AB à l'aide de trois rayons différents.
- ② Montrer que l'existence d'une solution pour d implique une condition sur D et f_0 .
- ③ Donner l'expression du grandissement transversal γ et déterminer la meilleure valeur de d . Comment faut-il placer la pellicule ?
- ④ Calculer d et f_0 pour $b = 24 \text{ mm}$, $\ell = 5 \text{ m}$ et $D = 40 \text{ m}$.

Données : on rappelle les relations de conjugaison, avec les notations habituelles :

Relation de conjugaison de Descartes :

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

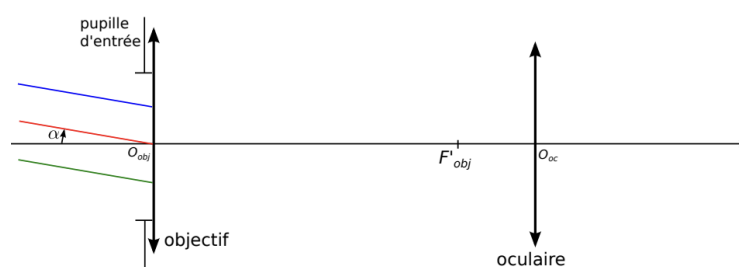
Relation de conjugaison de Newton :

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

Exercice 7 : Lunette astronomique



Oral CCP Mars est située à une distance variant entre 56 et 160 millions de kilomètres de la Terre. Son diamètre vaut 6800 km.



On l'observe au travers d'une lunette astronomique composée d'un objectif et d'un oculaire. Ces deux systèmes optiques complexes sont modélisables par deux lentilles convergentes, la première (l'objectif) de focale 1,0 m et la seconde (l'oculaire) de focale 2,5 cm.

① Calculer le diamètre apparent α de la planète Mars lorsqu'elle est observée sans lunette.

Commençons par étudier la structure de la lunette.

② La lunette est un instrument d'optique afocal. Quel en est l'intérêt ? Quelle en est la conséquence sur la position des lentilles ?

③ Tracer la marche d'un faisceau non parallèle à l'axe dans la lunette, en prenant pour le schéma $f_{\text{obj}} = 4f_{\text{oc}}$.

④ L'image finale est-elle droite ou renversée ?

La lunette est caractérisée par son grossissement $G = \alpha_0/\alpha$ où α est le diamètre apparent de la planète et α_0 l'angle sous lequel elle est vue en sortie de la lunette.

⑤ Exprimer G en fonction de f_{obj} et f_{oc} .

⑥ Sous quel angle Mars est-elle perçue lorsque son diamètre apparent est minimal ?

⑦ Où faut-il placer le capteur CCD d'un appareil photo pour photographier la planète ?

⑧ Quelle est la différence entre les lunettes et les télescopes ? Pourquoi utilise-t-on plus volontiers les télescopes ?

Exercice 8 : Réduction faisceau laser



d'après C. Garing

Le diamètre d'un faisceau laser parallèle incident de $D = 2,0$ mm est jugé trop grand et doit passer pour le faisceau parallèle émergent en sortie, à $d = 0,1$ mm.

① Proposer un dispositif optique comportant deux lentilles minces convergentes de même axe optique espacées de $e = 21,0$ cm.

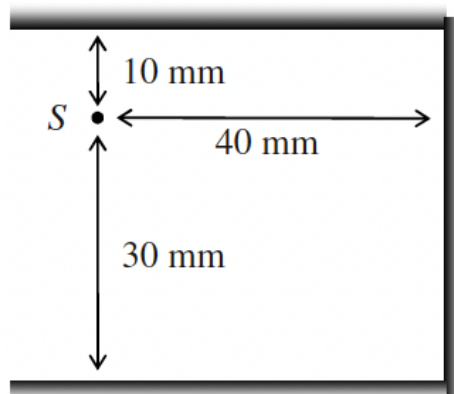
② Quelle est la valeur numérique des deux distances focales f'_1 et f'_2 à utiliser ?

Exercice 9 : Image Boomerang



d'après C. Garing

Un point source S émet de la lumière dans une boîte parallélépipédique aux parois intérieures réfléchissantes. Construire avec précision (aucune mesure d'angle, aucun calcul) le trajet d'un rayon dans le plan de la figure qui revient à S après une réflexion sur chacun des trois côtés de la boîte.



Exercice 10 : Fibre optique



Une fibre optique à saut d'indice est constituée d'un cœur en silice d'indice n_1 entouré d'une gaine d'indice n_2 . Elle permet de transporter des informations par modulation de l'amplitude d'un faisceau lumineux confiné à l'intérieur de la fibre par réflexion totale.

- ① Représenter la fibre à saut d'indice.
- ② Un rayon incident se propageant dans l'air d'indice $n = 1$ et tombant sur la fibre avec un angle d'incidence θ_i .

Montrer que si θ_i reste inférieur à un angle θ_a , un rayon peut être guidé dans le cœur. On appelle ouverture numérique (O.N.) la quantité $\sin \theta_a$. Exprimer O.N. en fonction de n_1 et $\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$. Calculer sa valeur. Données : $\Delta = 1 \times 10^{-2}$ et $n_1 = 1,5$.

- ③ Une impulsion lumineuse arrive à $t = 0$, au point O ($r = 0$, sur l'axe de la fibre) sous la forme d'un faisceau conique convergent, de demi-angle au sommet θ_i ($\theta_i < \theta_a$). Pour une fibre de longueur ℓ , calculer l'élargissement temporel Δt de cette impulsion à la sortie de la fibre. Exprimer Δt en fonction de ℓ , n_1 , c et θ_i . Quelle quantité d'informations, cette fibre peut-elle transmettre par seconde ? Données : $\ell = 10 \text{ km}$, $\theta_i = 8^\circ$ et $n_1 = 1,5$.