

MODÈLES D'INSTRUMENTS D'OPTIQUE
Conseils pour ce TD :

- Ceux du TD de O_2 .
- Respecter les notations. Par exemple, on note f' la distance focale $\overline{OF'}$ d'une lentille et F' son foyer principal image.
- Dans le cas d'un système optique constitué de plusieurs lentilles, on peut utiliser la notion d'images intermédiaires (faire un tableau du type $A - (L_1) \rightarrow A_1 - (L_2) \rightarrow A'$ par exemple) ou alors tracer le devenir d'un rayon après la suite de réfractions.
- Dans le cas courant où l'objet (respectivement, l'image) est à l'infini, aucune relation de conjugaison n'est nécessaire : l'image (resp. l'objet) est dans le plan focal image (resp. objet).

Exercice 1 : Lunette astronomique de Meudon.

La lunette astronomique de Meudon, en France, est schématisée par l'association de deux lentilles minces convergentes, l'une, l'objectif (L_1) de focale $f'_1 = 16$ m et l'autre, l'oculaire (L_2) de distance focale $f'_2 = 4$ cm. Le diamètre de l'objectif est $D = 80$ cm.

1. Faire un schéma de la lunette quand elle est réglée à l'infini. Dessiner la marche d'un faisceau lumineux issu d'un objet situé à l'infini mais pas sur l'axe optique, les rayons arrivent alors sur l'objectif en faisant un angle α avec l'axe optique.
2. Calculer la valeur du grossissement $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ où α' est l'angle que font les rayons avec l'axe optique en sortie du système.
3. Situer le cercle oculaire (image de l'objectif à travers (L_2)) et calculer son diamètre d .
4. On observe une étoile dont la diamètre angulaire apparent est $0,02''$. Montrer que cette étoile apparaît ponctuelle pour un observateur qui regarde dans la lunette, la résolution angulaire de l'œil est d'environ $1,5'$ Quel est alors l'intérêt ?

Exercice 2 : Système afocal de trois lentilles.

Soient trois lentilles de distances focales respectives $f'_1 = -1,5$ m, $f'_2 = 40$ cm et $f'_3 = -20$ cm.

La lentille (L_2) est placée entre les lentilles (L_1) et (L_3).

Le système est centré, aplanétique et stigmatique.

1. Donner la signification de ces trois derniers termes.
2. On veut que le système soit afocal c'est à dire que ses foyers principaux soient rejetés à l'infini. Déterminer alors la relation entre les trois distances focales et les distances d_1 séparant (L_1) de (L_2) et d_2 séparant (L_2) de (L_3). Calculer d_2 si $d_1 = 50$ cm.
3. Faire une figure du système à l'échelle et déterminer graphiquement si le grandissement transversal est inférieur ou supérieur à 1.

Exercice 3 : Appareil photographique.

1. L'objectif d'un appareil photographique est assimilable à une lentille mince convergente (L_1) de 10 cm de distance focale. On photographie une tour de 50 m de haut située à 1 km.
 - (a) À quelle distance de l'objectif se situe l'image A_1B_1 obtenue ?
 - (b) Quelle est la taille de cette image ?

2. On associe à cet objectif une lentille mince divergente (L_2) de distance focale -4 cm. Le capteur est située à 12 cm de (L_2) on règle $\overline{O_1O_2}$ jusqu'à obtention, sur le capteur, d'une image finale $A'B'$ nette.
 - (a) Quelle est alors la distance $\overline{O_1O_2}$ entre (L_1) et (L_2) ?
 - (b) Quelle est la taille de l'image dans ce cas ?
 - (c) Quel est l'intérêt de (L_2) ?
 - (d) Sur un schéma à l'échelle 1/1, positionner les lentilles (L_1) et (L_2), les images A_1B_1 et $A'B'$ en utilisant les valeurs numériques précédentes. Mettre en évidence sur ce schéma α , l'angle apparent sous lequel on voit l'objet depuis le centre optique de (L_1).
 - (e) Sur le même schéma, tracer la marche, à travers (L_1) et (L_2), d'un faisceau lumineux incident couvrant toute la lentille (L_1) dans les deux cas suivants :
 - faisceau parallèle de même direction que l'axe optique du système.
 - faisceau parallèle, incliné selon l'angle apparent α .
3. On reprend l'appareil photographique de la question 1.
 - (a) Quelle devrait être la distance focale d'une lentille convergente unique qui donnerait de la même tour, une image de même taille que celle donnée par le système $((L_1),(L_2))$ précédent ?
 - (b) Pourquoi utilise-t-on la solution de la question 2. plutôt que celle de la question 3. pour fabriquer les appareils photographiques ?

Exercice 4 : Ouverture d'un appareil photographique.

Un appareil photographique argentique est constitué d'une lentille convergente de focale $f' = 50$ mm. La pellicule est placée à la distance d de la lentille. Les rayons incidents sont limités par un diaphragme de diamètre D et dont l'ouverture est circulaire.

1. On souhaite photographier des objets à une distance variant de $x = 0,6$ m à l'infini par rapport à la lentille. Calculer les distances d_{\min} et d_{\max} de la pellicule pour lesquelles l'image formée est nette.
2. On définit un nombre N appelé nombre d'ouverture vérifiant $\frac{1}{N} = \frac{D}{f'}$ (appelée ouverture relative). Sur les objectifs, on peut faire varier le diamètre du diaphragme d'entrée de manière discontinue, ce qui est repéré sur l'objectif par une série de nombres N dont les valeurs sont 2,8 ; 4 ; 5,6 ; 8 ; 11 ; 16. Sur les boîtiers d'appareils photographiques, on dispose d'autre part des temps d'exposition nécessaires respectifs (en s) : $t_e = \frac{1}{15} ; \frac{1}{30} ; \frac{1}{60} ; \frac{1}{125} ; \frac{1}{250} ; \frac{1}{500}$. Expliquez.
3. La pellicule est caractérisée par un grain $g = 0,02$ mm (taille du grain de l'émulsion de la pellicule). On souhaite que la taille de la tache image d'un objet A reste inférieure à g pour que l'image soit satisfaisante. La mise au point étant faite à l'infini, mettre en évidence à l'aide d'une construction géométrique, la distance minimale L_0 , dite "hyperfocale", qui sépare A de la lentille pour que l'image soit correcte. Exprimer L_0 en fonction de g , f' et N .
4. Soit P_f la profondeur du champ (zone de l'espace objet qui donne une image nette). Qualitativement, comment P_f varie-t-elle avec N , avec f' ?

Exercice 5 : Lunette de Galilée, effet de Zoom.

La lunette de Galilée est formée d'une lentille objectif ($(L_1) : O_1, f'_1 = 20$ cm) et d'une lentille oculaire divergente ($(L) : O, f' < 0$). Le foyer objet F de (L) coïncide avec le foyer image F'_1 de (L_1). La longueur $l = \overline{O_1O}$ vaut 15 cm. On pointe un objet AB de 2 cm à 30 cm devant l'objectif.

1. Construire l'image $A'B'$ de AB . Est-elle réelle ou virtuelle ?
2. Calculer $p' = \overline{OA'}$ et $\overline{A'B'}$ (valeurs numériques).

- Le grandissement de l'ensemble dépend-il de la position de AB ? On tracera un rayon issu de B et arrivant sur le système parallèlement à l'axe optique.
- Cet appareil est destiné à voir des objets éloignés. En appelant α le diamètre angulaire apparent d'un objet à l'infini et α' celui de son image, calculer le grossissement $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ de cette lunette.

Exercice 6 : Étude d'un microscope.

Un microscope peut être modélisé par deux lentilles convergentes (L_1) et (L_2) alignées sur le même axe optique, entourées d'air.

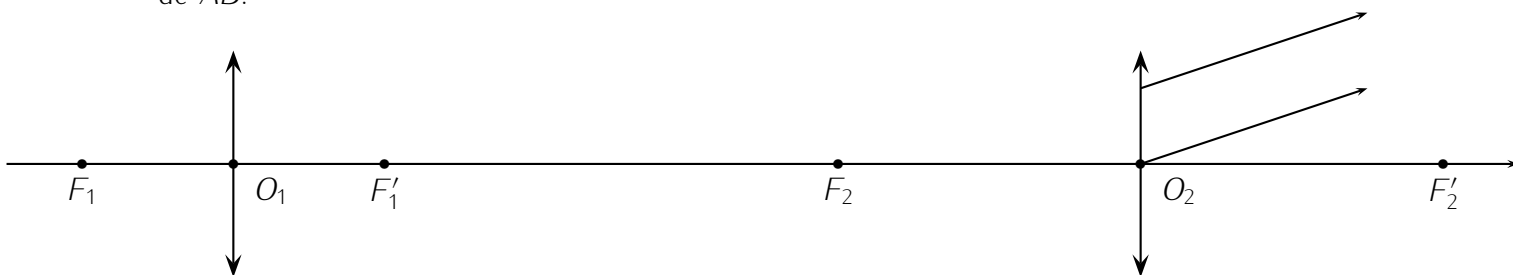
(L_1) modélise l'objectif et a une distance focale image $f'_1 = 2$ mm. (L_2) modélise l'oculaire et a une distance focale image $f'_2 = 30$ mm. La distance $\Delta = \overline{F'_1 F_2}$ entre le foyer image de (L_1) et le foyer objet de (L_2) vaut 160 mm, c'est l'intervalle optique du microscope.

La distance minimale de vision de l'œil est $d_m = 25$ cm : c'est le punctum proximum, la distance au dessous de laquelle l'œil n'arrive plus à accommoder : l'image n'est plus nette.

Par contre, l'œil normal voit net un objet situé à l'infini et cela sans accommoder.

On observe, à travers le microscope, un petit objet AB perpendiculaire à l'axe optique avec A et l'œil sur l'axe optique.

- Rappeler la formule de conjugaison de Newton pour une lentille mince sphérique. Donner également les deux formules de Newton pour le grandissement γ .
- Où doit être placé A pour que l'œil observe AB à travers le microscope sans accommoder? Faire l'application numérique.
- Les deux rayons sortant de la lentille (L_2) sur le dessin ci-dessous (qui n'est pas à l'échelle) sont issus de B . Dessiner leur trajet à travers le microscope et trouver ainsi graphiquement la position de AB .



- Expression du grossissement :
 - Sous quel angle maximal θ_0 un œil normal voit-il AB sans le microscope? (on prendra $\tan \theta_0 \simeq \theta_0$).
 - Sous quel angle θ l'œil voit-il AB à travers le microscope? (on prendra $\tan \theta \simeq \theta$).
 - On définit le grossissement par $G = \frac{\theta}{\theta_0}$. Calculer G en fonction de Δ , d_m , f'_1 et f'_2 . Faire l'application numérique.
- Le cercle oculaire de centre C est l'image de la monture de (L_1) à travers (L_2).
 - Que vaut $\overline{CF'_2}$.
 - Quel est le diamètre D' du cercle oculaire sachant que le diamètre de la monture de (L_1) est $D = 11$ mm?
- Comme la rétine est discontinue, granulaire, l'œil ne peut pas distinguer deux rayons lumineux l'un de l'autre s'ils font entre eux un angle inférieur à $\varepsilon = 1,5$ minute d'arc. 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.