■ Lentilles minces et applications

Ex-O4.1 Formule des opticiens

Comment réaliser simplement un système optique convergent, de distance focale $+10\ cm$ à partir d'une lentille divergente de distance focale $-6\ cm$?

Rép : Accoler une lentille convergente à la lentille divergente avec $f'_{\text{conv}} = 3,7\ cm$

✥ Rappel : Lentilles accolées ✥

Lorsqu'on accole deux lentille minces sphériques de vergence V_1 et V_2, on obtient un système équivalent à une seule lentille mince sphérique de vergence

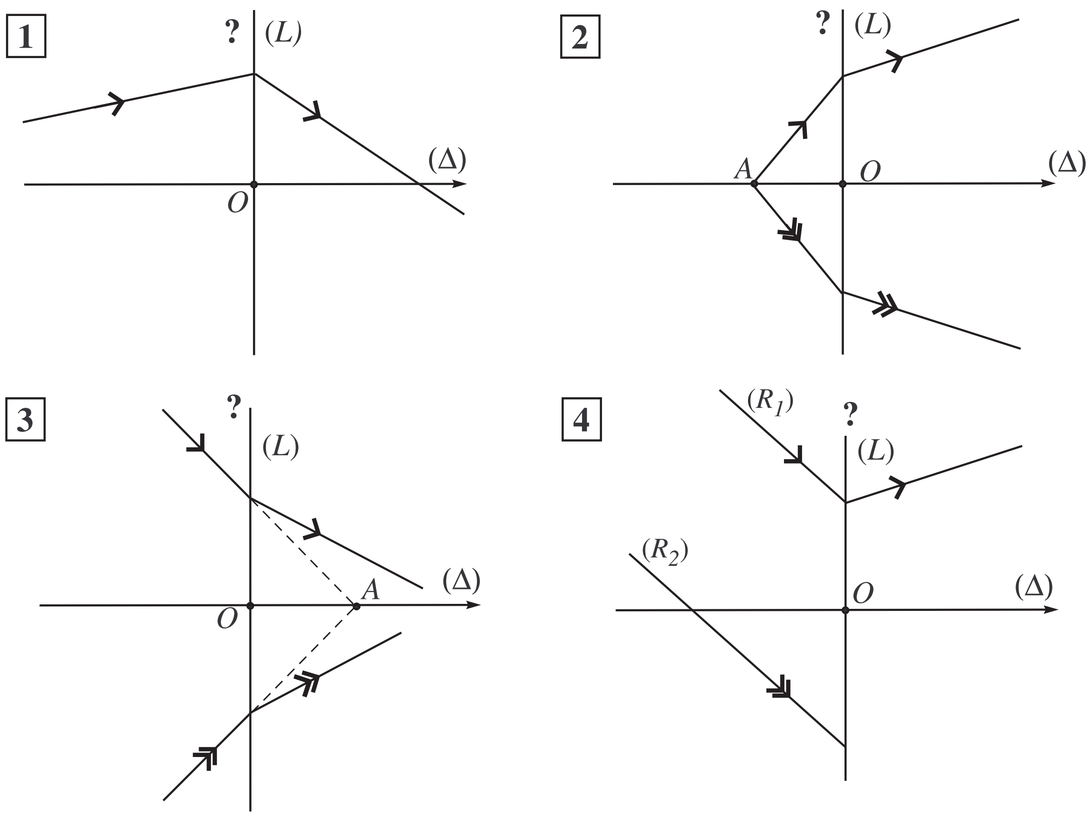
$$V = V_1 + V_2$$

Ex-O4.2 Diamètre angulaire et Détermination d'une distance focale

À l'aide d'une lentille, on regarde un objet très éloigné (considéré comme à l'infini de la lentille en supposant qu'il est à une distance très grande devant la focale). Le pied de cet objet peut être considéré sur l'axe optique de la lentille. Le sommet de cet objet est vu à l'œil nu sous un angle de 10°. L'image, obtenue sur un écran, mesure 8 cm de haut.
Quelle est la nature et distance focale de la lentille utilisée ?

Rép : $f'_{\text{conv}} = +45,4\ cm$

Ex-O4.3 Tracés de rayons et caractérisation des lentilles



1) Dans les quatre situations représentées ci-dessus, à l'aide d'une série de constructions graphiques qu'il faudra justifier :
- déterminer la position du foyer objet F et du foyer image F' de chaque lentille
- conclure quant à la nature de chaque lentille (et compléter sa représentation graphique).

2) Sur la figure **2**, quelle est la nature et la position de l'image A' de A à travers $(\mathcal{L})$?

3) Même question pour la figure **3**.

4) Compléter la figure **4** en représentant le rayon émergeant provenant du rayon incident (R_2) (sur le schéma (R_2) est parallèle à (R_1)).

Ex-O4.4 lentille simple

Un objet AB de taille $1,0\ cm$ est placé $5,0\ cm$ avant le centre optique O d'une lentille convergente,d e distance focale $f' = 2,0\ cm$ (AB est perpendiculaire à l'axe optique).

1) Calculer la vergence de la lentille et préciser son unité.
2) Construire l'image $A'B'$ de AB en utilisant les trois rayons « utiles ». Mesurer $\overline{A'B'}$ et $\overline{OA'}$.
3) Retrouver $\overline{OA'}$ et $\overline{A'B'}$ par le calcul.
4) Calculer le grandissement G_t. Que peut-on dire de l'image ?
5) Nommer et rappeler les conditions d'utilisation des expressions précédentes.

Rép : **1)** $V = 50\ \delta$; **2)** $\overline{OA'} \simeq +3,3\ cm$ et $\overline{A'B'} \simeq -0,7\ cm$; **3)** $\overline{OA'} = \dfrac{\overline{OA}\,f'}{\overline{OA}+f'} \simeq +3,3\ cm$; et $\overline{A'B'} = \dfrac{\overline{AB}\,f'}{\overline{OA}+f'} \simeq -0,67\ cm$; **4)** $G_t = \dfrac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = -\dfrac{2}{3} \simeq -0,67 < 0$: image renversée ; **5)** Condit° de Gauss.

Ex-O4.5 Projection à l'aide d'une lentille convergente

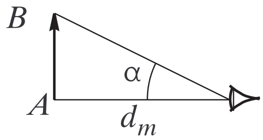
On désire projeter, à l'aide d'une lentille mince convergente, l'image d'un petit objet AB sur un écran E parallèle à AB. La distance de AB à E est donnée et égale à D. On souhaite obtenir un grandissement égal à a en valeur absolue. Quelle distance focale f' doit avoir la lentille utilisée ?
A.N. : $a = 10$ et $D = 2\ m$.

Rép : $f' = \dfrac{D}{\frac{1}{a}+2+a} = \dfrac{aD}{(1+a)^2} \simeq 16,5\ cm.$

Ex-O4.6 Loupe (*)

Pour examiner un petit objet AB à l'œil nu, en observant le maximum de détails, on doit l'approcher le plus près possible de l'œil. L'expérience montre cependant qu'il existe une distance minimale de vision distincte, notée d_m, en dessous de laquelle l'œil ne peut plus accommoder.

Le plus grand angle sous lequel on peut voir à l'œil nu l'objet AB est donc : $\alpha = AB/d_m$ (nous supposons l'objet assez petit pour pouvoir confondre l'angle et sa tangente).



Pour un œil normal, d_m est de l'ordre de 25 cm. Le point A correspondant est appelé *punctum proximum* (P.P.).

Toutefois l'observation rapprochée est fatigante, car l'œil doit accommoder ; l'observation idéale correspond à un objet éloigné (objet à l'infini) – alors, l'oeil n'accommode plus et on dit que l'objet observé est au *punctum remotum* (P.R.) de l'oeil.

Il est possible d'obtenir cette condition, tout en augmentant l'angle sous lequel on voit l'objet AB ; il suffit en effet de placer AB dans le plan focal objet d'une lentille convergente de focale f'.

L'image est alors à l'infini. On appelle α' l'angle sous lequel cette image est observée.

1) Montrer que le grossissement $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha}$ de la loupe vaut $\dfrac{0,25}{f'}$.

Rq : Attention ! dans cet exercice, le « grossissement » n'a pas la même définition que celle du « grandissement » angulaire qui a été donnée en cours.

A.N. : $G = 2$. Calculer la distance focale puis la vergence (ou puissance) de la loupe.

2) Mettre au point, c'est amener l'image dans le champ de vision de l'œil entre le *punctum remotum* (qui est à l'infini) et le *punctum proximum*.

Le petit déplacement correspondant de l'ensemble {loupe-œil} s'appelle la latitude de mise au point.

→ Calculer la latitude de mise au point d'une loupe constituée par une lentille mince convergente de 3 cm de distance focale pour un œil restant au foyer image de la loupe.

Rép : **1)** Faire un schéma de la lentille utilisée comme loupe avec un objet AB placé dans son plan focal objet. Faire apparaître le trajet de 2 rayons incidents issus de B : (1) celui qui arrive sur la lentille parallèlement à l'axe optique et (2) celui qui passe par le centre optique O.
Où se trouve α' sur le schéma ? Exprimer α' en fonction de AB et de f' en se souvenant qu'on travaille dans les conditions de Gauss ; idem pour α tel que défini dans l'énoncé. En déduire G. On trouve $V = +8\ \delta$.
2) Latitude de mise au point Δp : sur le même schéma, comprendre où doivent se trouver les deux positions extrêmes A_1 et A_2 de A pour que : (1) $A'B'$ soit observée à l'infini (P.R. $= +\infty$ pour un œil idéal) ou (2) $A'B'$ soit observée à la distance minimale d'observation (P.P. $= d_m$).
On trouve $\Delta p = \overline{OA_1} - \overline{OA_2} = \overline{FA_2} = \dfrac{f'^2}{d_m} \simeq +4\ mm.$

Ex-O4.7 **Principe du microscope (*)**
Un **objectif**, assimilé à une lentille mince $\mathcal{L}_1$ de distance focale f'_1, donne d'un objet réel situé en avant de son foyer objet F_1, très proche de celui-ci, une image réelle A_1B_1.
Cette image est agrandie par l'**oculaire**, assimilé à une lentille mince $\mathcal{L}_2$, jouant le rôle d'une loupe de distance focale f'_2. Si A_1B_1 est située dans le plan focal objet de l'oculaire, l'image définitive $A'B'$ est rejetée à l'infini et l'œil n'accommode pas.
Rq : *Dans la réalité, objectif et oculaire sont formés de nombreuses lentilles.*
Soit un **microscope** pour lequel $f'_1 = 5\ mm$, $f'_2 = 20\ mm$, la distance F'_1F_2 (intervalle optique) est de 18 cm. L'observateur met au point de façon à observer l'image définitive à l'infini.
1) Faire une figure sur laquelle on mettra en évidence la direction de A' et de B' et l'angle α' sous lequel l'observateur voit l'image définitive.
2) Calculer la puissance du microscope, rapport de l'angle α' à la taille de l'objet AB.
3) Les rayons lumineux issus des différents points de l'objet se concentrent après la traversée du microscope dans un cercle voisin du plan focal image de l'oculaire. Si la pupille de l'œil est placée au niveau de ce cercle, appelé **cercle oculaire,** elle reçoit un maximum de lumière.
Sachant que c'est l'objectif qui diaphragme le faisceau lumineux, représenter le trajet des rayons extrêmes pour les deux faisceaux issus de A et de B, puis hachurer les deux faisceaux. L'intersection des faisceaux émergents définit le cercle oculaire.

> **Propriété :** Constater, à l'aide de la construction graphique, *et retenir*, que ce **cercle oculaire** est l'image de l'objectif par l'oculaire.

Rép : $\mathcal{P} = \dfrac{\alpha'}{AB} = \dfrac{e}{f'_1 f'_2} = 1\,800\ \delta$.

Ex-O4.8 **Principe de la lunette astronomique ou du viseur à l'infini** (doublet afocal)
Un objectif de grande focale f'_1 donne d'un objet AB éloigné (considéré comme à l'infini) une image dans son plan focal. Un oculaire joue le rôle de loupe et donne une image à l'infini de l'image donnée par l'objectif. L'objectif et l'oculaire sont assimilés à des lentilles minces convergentes $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$.
Soit une petite lunette astronomique pour laquelle $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$ ont pour convergences $C_1 = 2\ \delta$ (dioptries) et $C_2 = 50\ \delta$. L'interstice entre les deux lentilles est $e = 52\ cm$.
Où se trouve l'image définitive ? Faire une figure et noter, sur cette figure, α (angle sous lequel est vu un rayon incident issu de B) et α' (angle sous lequel émerge la lumière une fois qu'elle a traversé la lunette).
Montrer que le grossissement de la lunette est $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha} = \dfrac{f'_1}{f'_2}$. Calculer ce grossissement.

> **Définition :** l'énoncé appelle **convergence**, notée C, ce que nous appelons dans le cours **vergence**, notée V. Il s'agit bien de la même notion.

Ex-O4.9 **Étude d'un doublet**
On place sur un même axe deux lentilles minces $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$ à 16 cm l'une de l'autre. La lumière arrive sur $\mathcal{L}_1$ et émerge par $\mathcal{L}_2$. $\mathcal{L}_1$ est une lentille convergente de distance focale $f'_1 = 10\ cm$. $\mathcal{L}_2$ est une lentille divergente de distance focale $f'_2 = -4\ cm$.
À quelle distance de $\mathcal{L}_1$ doit-on placer un petit objet plan perpendiculaire à l'axe pour en obtenir une image à l'infini ?
Rép : $\overline{O_1A} = \overline{O_1F_1} + \overline{F_1A} = -20\ cm$ (Utiliser la Relation de Newton,).

Ex-O4.10 **Principe de la lunette de Galilée** (jumelles de théâtre)
Les deux lentilles de l'exercice précédent sont maintenant distantes de 6 cm.
1) Où se trouve, pour un observateur situé en arrière de $\mathcal{L}_2$, l'image d'un objet à l'infini vu, à l'œil nu, sous un angle α ?

2) On a ainsi réalisé une lunette de Galilée. Calculer le grossissement ($G = \frac{\alpha'}{\alpha}$) de cette lunette dans ces conditions d'observation (vision à l'infini et α' étant l'angle sous lequel on voit l'image). Faire une figure à l'échelle avant de vous lancer des des calculs.

Rép : $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha} = -\dfrac{f'_1}{f'_2} = 2,5$.

Ex-O4.11 Étude d'un téléobjectif d'appareil photographique

Un téléobjectif est constitué de deux lentilles minces dont les axes optiques coïncident. La lentille d'entrée $\mathcal{L}_1$ a une vergence $C_1 = 10\ \delta$ et est suivie d'une lentille $\mathcal{L}_1$ de vergence $C_2 = -40\ \delta$. La distance O_1O_2 séparant les deux lentilles vaut 8 cm. Un objet AB de hauteur égale à $0,5\ m$ est placé à une distance $d = 100\ m$ de $O1$ sur l'axe optique.

1) Déterminer les caractéristiques de l'image intermédiaire A_1B_1 donnée par $\mathcal{L}_1$.

2) Quel rôle joue cette image pour la seconde lentille ? Déterminer les caractéristiques de l'image définitive $A'B'$.

3) Les résultats de la question précédente sont-ils conformes aux propriétés attendues pour l'image donnée par un téléobjectif sur la pellicule photographique ?

4) Déterminer la position de la lentille convergente unique qui permettrait d'arriver au même résultat. Préciser sa distance focale.

5) Conclure quant à l'intérêt du téléobjectif.

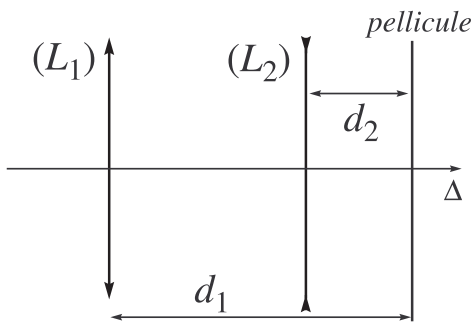
Ex-O4.12 Appareil photographique

Pour l'appareil photographique ci-contre, on donne $f'_1 = 4\ cm$, $f'_2 = -6\ cm$ et $d_1 = 5\ cm$.

1) Que vaut d_2 pour qu'un point M situé à l'infini sur l'axe optique donne un point sur le film photo ?

2) Tracer le trajet de deux rayons issus de M jusqu'à la pellicule.

3) Si on voit à l'œil nu une image avec un angle de 1°, trouver la dimension de l'image.



Solution Ex-O4.3