TD φ 2 : Formation des images

Exercice 1 : Problèmes de lentilles

1. Un objet transverse réel, de 10 cm de hauteur, est situé à 37.5 cm d'une lentille dont la distance focale est $f' = 26.5$ cm. A quelle distance de la lentille se formera l'image ?
2. Un objet virtuel de $2m$ de hauteur est situé à 2.2 m d'une lentille dont la distance focale est $f' = -4$ m. Quelle sera la hauteur de l'image formée ?
3. Un objet AB transverse virtuel est situé à 3 cm d'une lentille de distance focale $f' = -5cm$. Construire l'image de AB à travers la lentille. Retrouver la position de l'image et le grandissement par le calcul.
4. A quelle distance d'une lentille convergente, dont la distance focale est $f' = 1.5$ cm, doit-on placer un objet pour obtenir une image droite trois fois plus grande ? Où se trouve l'image ? Quelle est la nature de l'objet ? de l'image ?

Exercice 2 : Vérification expérimentale des relations de conjugaison

On place un objet à la graduation 0 d'un banc d'optique (l'objet, constitué par une lettre imprimée sur un papier calque, est éclairé, de façon à pouvoir obtenir une image). On place alors une lentille convergente sur un deuxième support et un écran sur un troisième. Les trois supports étant sur le banc (la lentille entre l'objet et l'écran), on déplace l'écran de façon à observer une image nette. On note alors la graduation x_1 de la lentille et celle x_2 de l'écran et on reporte dans un tableau les différentes valeurs obtenues (en cm) :

$x_1(cm)$	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	15.0	20.0	25.0	30.0	40.0	50.0
$x_2(cm)$	79.2	51.1	41.0	37.3	33.0	32.1	33.2	36.9	41.1	50.3	59.8

1. On note A la position de l'objet, O celle de la lentille et A' celle de l'écran. Représenter graphiquement $\frac{1}{\overline{OA'}}$ en fonction de $\frac{1}{\overline{OA}}$ et vérifier la formule de conjugaison.
2. Déterminer la vergence de la lentille utilisée.

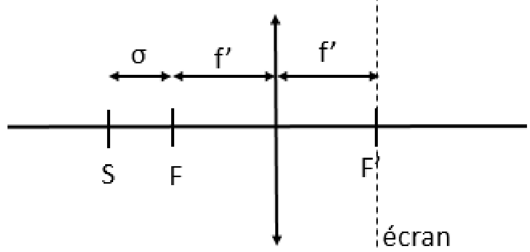
Exercice 3 : Système catadioptrique

Un système optique est formé d'une lentille mince convergente de focale 0.30 m et d'un miroir plan disposé à 0.15 m derrière la lentille. Déterminer la position de l'image que ce système donne d'un objet situé à 0.15 m en avant de la lentille.

Exercice 4 : Montage condenseur

On donne une lentille convergente de distance focale f'. Une source ponctuelle est placée en S, à la distance σ du foyer. On place un écran de l'autre côté de la lentille à la distance f'. Calculer la taille de la tâche lumineuse sur l'écran.

Indication : On introduira le diamètre de la lentille D.



Exercice 5 : Appareil photographique

Un photographe utilise son vieil appareil photographique argentique, avec une pellicule de taille $24mm \times 36mm$.
L'objectif de l'appareil est assimilable à une lentille convergente de vergence $V = 20.0\delta$ et la pellicule est située derrière la lentille, à une distance d, réglable, de son centre O. d peut varier entre $50mm$ et $55mm$.

1. Le photographe veut photographier un arbre de $10m$ de haut, situé à une distance de $50m$. Quelle sera la hauteur de l'image de l'arbre sur la pellicule ?
2. Jusqu'à quelle distance peut-il s'approcher pour avoir toujours l'arbre en entier sur la pellicule ?
3. Montrer qu'il existe une distance minimale en deçà de laquelle il n'y aura pas d'image.

Exercice 6 : Méthode d'autocollimation

On place sur un même support une lentille mince convergente de focale f' et un miroir plan. On déplace alors l'ensemble de façon à former sur le support de l'objet une image renversée et de même taille que l'objet. Montrer que, dans ce cas, la distance entre le système lentille + miroir et l'objet correspond à la focale de la lentille.

Exercice 7 : Doublet optique de Huyghens

On considère un doublet de lentilles minces convergentes non accolées. Ce doublet est caractérisé par les focales f'_1 et f'_2 des deux lentilles et par l'intervalle optique $\overline{O_1O_2} = e$. Un doublet de Huyghens est du type $f'_1 = 3a$, $e = 2a$ et $f'_2 = a$.
Pour les applications numériques, on prendra $a = 2.0cm$.

1. Placer sur l'axe optique, en effectuant une construction à l'échelle, les foyers principaux des deux lentilles et déterminer par construction géométrique les positions des foyers principaux objet et image **du doublet**, notés respectivement F et F'.
2. Vérifier ces résultats par le calcul en déterminant algébriquement $\overline{F_1F}$ et $\overline{F'_2F'}$.

Exercice 8 : Observation de Saturne

On observe Saturne et ses anneaux à l'aide d'une lunette afocale constituée d'une première lentille mince, l'objectif, de centre O_1 et de vergence $V_1 = 1.0\delta$ et d'une seconde lentille mince, l'oculaire, de centre O_2 et de vergence $V_2 = -5.0\delta$; elles sont distantes de $\overline{O_1O_2} = 0.8m$. La lunette pointe vers le centre de la planète distante de $D = 1.5 \times 10^{12}$ m. On note α l'angle entre les rayons issus du centre de la planète et ceux issus du bord de l'anneau le plus grand, de rayon $R_A = 10^8 m$.

1. Calculer numériquement l'angle α.
2. Expliquer pourquoi cette lunette est bien afocale.
3. On note α' l'angle entre la direction des faisceaux de rayons émergents issus du bord des anneaux et l'axe optique. Déterminer le grossissement angulaire $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ et faire l'application numérique.
4. Vérifier que l'utilisation de la lunette est indispensable pour distinguer les anneaux de Saturne, sachant que le pouvoir séparateur de l'oeil est $\alpha_0 = 3 \times 10^{-4} rad$.

Exercice 9 : Introduction au microscope

Un microscope simplifié est constitué de deux lentilles minces convergentes : une lentille d'entrée L_1 (objectif) et une lentille L_2 (oculaire). Leurs distances focales respectives sont $f'_1 = 5\ mm$ et $f'_2 = 20\ mm$. La distance Δ séparant le foyer image de L_1 et le foyer objet de L_2 est appelé intervalle optique.
On prendra ici $\Delta = \overline{F'_1F_2} = 17\ mm$.
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. L'oeil de l'observateur est proche du foyer image de l'oculaire.

1. Déterminer la position de l'objet à observer.
2. Faire une construction géométrique soignée pour l'objet AB précédent perpendiculaire à l'axe optique et tracer la marche d'un faisceau lumineux issu de B.
3. Calculer le grandissement de l'objectif.
4. Exprimer l'angle α' sous lequel est vue l'image définitive en fonction de Δ, f'_1, f'_2 et AB.
5. L'observation à l'oeil nu de l'objet à la distance minimale de vision nette $d_m = 25\ cm$ est faite sous un angle α. Déterminer le grossissement commercial $G_C = \frac{\alpha'}{\alpha}$ du microscope. En déduire la puissance intrinsèque du microscope définie par le rapport : $\frac{G_C}{d_m}$.

Exercice 10 : La lunette astronomique

On considère une lunette astronomique formée :

— d'un objectif constitué d'une lentille mince convergente L_1 de distance focale $f'_1 > 0$;
— d'un oculaire constitué d'une lentille mince convergente L_2 de distance focale $f'_2 > 0$

Ces deux lentilles ont même axe optique Δ. On rappelle qu'un oeil normal voit un objet sans accomoder quand celui-ci est placé à l'infini. On souhaite observer la planète Mars, qui est vue à l'oeil nu sous un diamètre apparent α.

1. Pour voir la planète nette à travers la lunette, on forme un système afocal.
   (a) Que cela signifie-t-il ? Que cela implique-t-il pour les positions des lentilles ?
   (b) Faire le schéma de la lunette en prenant $f'_1 = 5f'_2$.
   Dessiner sur ce schéma la marche à travers la lunette d'un rayon lumineux incliné d'un angle α (diamètre apparent de l'astre). On appelle A_1B_1 l'image intermédiaire.
2. On note α' l'angle que forment les rayons émergents extrêmes en sortie de la lunette.
   (a) L'image est-elle droite ou renversée ?
   (b) La lunete est caractérisée par son grossissement : $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$. Exprimer G en fonction de f'_1 et f'_2.
3. On veut augmenter le grossissement de cette lunette et redresser l'image. Pour cela, on interpose entre L_1 et L_2, une lentille convergente L_3 de distance focale $f'_3 = \overline{O_3F'_3} > 0$.
   L'oculaire L_2 est déplacé pour avoir de la planète une image nette à l'infini à travers le nouvel ensemble optique.
   (a) Quel couple de points doit conjuguer L_3 pour qu'il en soit ainsi ?
   (b) On appelle γ_3 le grandissement de la lentille 3. En déduire $\overline{O_3F'_1}$ en fonction de f'_3 et γ_3.
   (c) Faire un schéma. On placera O_3 entre F'_1 et F_2 et on appellera $\overline{A_1B_1}$ la première image intermédiaire et $\overline{A_2B_2}$ la seconde image intermédiaire.
   (d) En déduire le nouveau grossissement G' en fonction de γ_3 et G. Comparer à G, en valeur absolue et en signe.

Exercice 11 : Utilisation d'une loupe

Une loupe est une lentille convergente de distance focale f' petite devant la distance oeil-punctum proximum (PP) d_m. On s'intéresse au principe et au grossissement angulaire G d'une telle loupe.

1. (a) Une loupe forme une image $A'B'$ droite d'un objet réel AB. De quelle nature est nécessairement l'image ?
   (b) Où se situe alors l'objet AB par rapport au foyer principal objet F de la lentille ?
   (c) Pour des raisons de confort visuel, on veut que l'image se forme à l'infini. Où doit-on placer l'objet ?
   (d) Illustrer cette configuration par une construction géométrique. L'oeil est collé à la loupe. On adopte cette configuration par la suite.
2. On appelle grossissement commercial de la loupe le rapport $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ avec α le diamètre apparent de l'objet placé au *punctum proximum* et α' le diamètre apparent de son image par la loupe.

   (a) Rappeler l'ordre de grandeur de la limite de résolution angulaire d'un oeil sain et la distance à l'oeil du punctum proximum. En déduire la taille caractéristique l_{min} du plus petit détail discernable à l'oeil nu.
   (b) Exprimer le grossissement de la loupe en fonction de f' et d_m.
   (c) Application numérique pour une loupe de vergence $V = 20\delta$.
   (d) Quelle est la taille du plus petit détail discernable avec cette loupe ?

Exercice 12 : Modélisation d'un oeil

On rappelle qu'un oeil au repos voit nettement un objet situé au PR à la distance D_m du point O. On a donc $D_m = \overline{OPR}$. De même un oeil qui accomode au maximum voit un objet situé au PP à la distance d_m du point O. On a donc $d_m = \overline{OPP}$ et pour un oeil normal, on prend $d_m = -25\ cm$.

A chaque état d'accomodation de l'oeil est associée une distance focale image f' pour la lentille. L'oeil étudié ici est tel que la distance lentille-rétine d est de 15.0 mm. Il voit nettement un objet situé entre le PP ($d_m = -32.3\ cm$) et le PR ($D_m = -1.11\ m$).

1. Déterminer la distance focale image de la lentille lorsque cet oeil est au repos et lorsqu'il accommode au maximum.
2. On veut corriger cet oeil afin que ses limites de vision distinctes soient celles d'un oeil normal.

   Démontrer que deux lentilles minces L_1 et L_2 accolées en O, de même axe optique principal et de focales respectives f'_1 et f'_2 sont équivalentes à une seule lentille mince de centre optique O et de focale f'_a telle que :

$$\frac{1}{f'_a} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2}$$

3. On utilise des verres de contact ("des lentilles"). Déterminer la (les) distance(s) focale(s) image des verres de contact utilisés en supporsant que le système verre de contact-lentille L est accolé. Préciser la nature (convergente ou divergente) de ces verres correcteurs.