TD 3 – Modèles de quelques dispositifs optiques

Ce qu'il faut savoir et savoir faire

→ Même chose qu'au TD2.
→ Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur fixe.
→ Citer les ordres de grandeurs de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.
→ Représenter le schéma d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes ; identifier l'objectif et l'oculaire.
→ Représenter le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale.
→ Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale.

J'apprends mon cours : *Questions de cours, QCM, exercices 1, 2, 5*

Questions de cours

Q1. Préciser quel organe de l'œil joue le rôle de lentille, de diaphragme, d'écran et faire un schéma.
Q2. Qu'est-ce que l'accommodation ?
Q3. Qu'appelle-t-on punctum proximum et punctum remotum ?
Q4. Qu'appelle-t-on œil "normal" ? Quel autre adjectif peut-on utiliser ?
Q5. Définir et donner les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation d'un oeil emmétrope.
Q6. Définir le terme afocal.
Q7. Modéliser la lunette astronomique.
Q8. Etablir l'expression du grossissement d'une lunette astronomique.

QCM

1) L'œil peut être modélisé par :

❑ **a.** Une lentille convergente, un écran, une source de lumière.
❑ **b.** Une lentille convergente, un écran, un diaphragme.
❑ **c.** Une lentille divergente, un écran, une fente.
❑ **d.** Une lentille divergente, un écran, un diaphragme.

2) L'ensemble cornée cristallin :

❑ **a.** Peut-être assimilé à une lentille convergente d'indice variable.
❑ **b.** Peut-être assimilé à une lentille convergente de focale variable.
❑ **c.** Peut être assimilé à une lentille convergente mobile.

3) Quand l'œil accommode :

❑ **a.** L'iris modifie son ouverture.
❑ **b.** La courbure du cristallin est modifiée.
❑ **c.** La rétine se déplace.

4) Quand l'œil est au repos :

❑ **a.** Sa distance focale est maximale.
❑ **b.** Sa distance focale est minimale.

5) L'image d'un objet sur la rétine est :

❑ **a.** Toujours réelle.
❑ **b.** Toujours virtuelle.
❑ **c.** Réelle ou virtuelle suivant la position de l'objet.

6) Un œil de diamètre 15 mm voit net un objet situé à l'infini.

❑ **a.** Sa distance focale est infinie.
❑ **b.** Sa distance focale est f' = 15 mm.

7) Pour voir nettement un objet situé au punctum proximum :

❑ **a.** La distance focale du cristallin doit être maximale.
❑ **b.** La distance focale du cristallin doit être minimale.
❑ **c.** L'œil doit être au repos.

8) Parmi les affirmations suivantes lesquelles sont exactes ?

❑ **a.** Lorsque l'œil accommode, le système optique de l'œil devient moins convergent.
❑ **b.** Pour observer un objet très éloigné, l'œil emmétrope n'a pas besoin d'accommoder.
❑ **c.** Si un œil emmétrope n'accommode pas, l'image d'un objet proche se forme derrière la rétine.

Exercices

Exercice 1 : Presbytie ★☆☆

Ref. 0022

- ✓ *Lentilles minces*
- ✓ *Relation de conjugaison*
- ✓ *Modélisation de l'œil*
- ✓ *Défauts de l'œil*

Un œil normal est assimilable à une lentille mince convergente de centre optique *O*, de distance focale *f'*. La rétine est assimilée à un plan perpendiculaire à l'axe optique et situé à une distance invariable de 17 mm.

1) L'œil n'accommode pas. Que vaut f_1' ?
2) L'œil accommode maintenant au maximum. L'observateur voit nettement des objets situés à la distance minimale distincte, c'est-à-dire à 25 cm de O. Calculer la nouvelle distance focale f_2'.
3) On définit l'amplitude d'accommodation par la relation $\Delta = V_1 - V_2$. V_1 et V_2 étant les vergences associées aux distances focales calculées précédemment. Calculer l'amplitude d'accommodation.

4) Avec l'âge, l'œil devient presbyte, le cristallin devenant moins souple. La faculté d'accommodation diminue. La personne continue à voir nettement à l'infini sans accommoder. Calculer la nouvelle distance minimale de vision distincte dans le cas d'une amplitude d'accommodation réduite d'un facteur 4.

Exercice 2 : Correction d'un œil myope ♥

★★☆
Ref. 0023

- ✓ *Lentilles minces*
- ✓ *Relation de conjugaison*
- ✓ *Modélisation de l'œil*
- ✓ *Défauts de l'œil*

Un œil myope possède un ponctum proximum situé à 12 cm et un ponctum remotum situé à 1.2 m. Le centre optique de la lentille équivalente à l'œil est à 15.2 mm de la rétine.

1) Entre quelles valeurs la distance focale de cet œil peut-elle varier ?
2) Déterminer la distance focale des lentilles de contact correctrices permettant une bonne vision de loin.
3) Où se situe le ponctum proximum de l'œil corrigé ?

Exercice 3 : Etude d'une loupe

★★☆
Ref. 0024

- ✓ *Lentilles minces*
- ✓ *Pouvoir de résolution*
- ✓ *Grossissement*

Une loupe est une lentille convergente de distance focale image f'. On l'utilise pour observer une image agrandie d'un objet à travers la lentille.

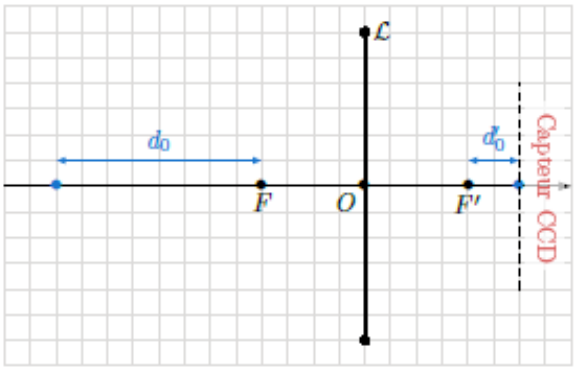
1) De quelle nature est l'image donnée par la loupe ?
2) Pour observer l'image de l'objet sans fatigue, où doit-elle se former ? Où doit être placé l'objet par rapport à la lentille pour qu'il en soit ainsi ? Faire un schéma dans cette situation.
3) On définit le grossissement commercial par $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$, où α est l'angle sous lequel est vu l'objet à l'œil nu (sans loupe) observé au punctum proximum (d_m = 25 cm), et α′ l'angle sous lequel est vue l'image observée à travers la loupe. Exprimer le grossissement commercial de la loupe en fonction de f' et d_m.
4) Calculer la valeur du grossissement commercial d'une loupe de vergence V = 10 δ.
5) Quel est le pouvoir de résolution de l'œil dans de bonnes conditions d'éclairement ? Donner la taille du plus petit objet que peut distinguer un œil normal en accommodant au maximum.
6) Donner la taille du plus petit objet que peut distinguer un œil normal en utilisant la loupe sans accommoder. Conclure.

Exercice 4 : Profondeur de champ d'un appareil photo numérique ♥

⊞ | ★★☆
Ref. 0025

- ✓ *Lentilles minces*
- ✓ *Relation de conjugaison*
- ✓ *Stigmatisme approché*

On modélise l'objectif d'un appareil photographique par une seule lentille, de distance focale $|f'|$ = 50 mm, limitée par un diaphragme de rayon R accolé à la lentille. On place le capteur CCD de sorte que l'image d'un objet réel AB, de hauteur h = 20 cm et situé à une distance d_0 du foyer objet F, soit réelle, nette et de hauteur h' = 35 mm.



1) Quel type de lentille doit-on utiliser pour obtenir une image réelle d'un objet réel ? En déduire le signe de f'. Où doit-on placer l'objet par rapport à F ?
2) Placer l'objet AB sur un schéma, et tracer les 3 rayons de construction de l'image.
3) A l'aide du schéma précédent, exprimer la distance d'_0 qui sépare la pellicule du foyer image F' en fonction de f', h et h'. Faire l'application numérique.
4) De même, exprimer la distance d_0 qui sépare l'objet du foyer objet en fonction de f', h et h'. Faire l'application numérique.

Un objet A_1B_1 identique à AB est placé sur l'axe optique à une distance $d > d_0$ du foyer objet.

5) Construire l'image A'_1 de A_1 sur un autre schéma, on fera apparaître le diaphragme ainsi que les rayons extrêmes passant par la lentille et convergeant en A'_1.
6) Montrer que le rayon r de la tâche image obtenue sur la matrice CCD vérifie $r = R\dfrac{d'_0 - \frac{f'^2}{d}}{f' + \frac{f'^2}{d}}$

On considère que la netteté de l'image est acceptable si le rayon de la tache image d'un objet ponctuel n'excède pas 0,05 mm. On donne le nombre d'ouverture $N = \dfrac{f'}{2R} = 10$.

7) L'image d'un objet à l'infini est-elle nette ?
8) Déterminer la valeur maximale de d pour laquelle l'image est nette.

Exercice 5 : Lunette de Galilée *(D'après CCP MP 2007)* ♥

★★☆

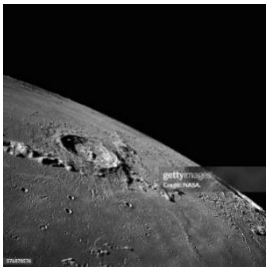
Ref. 0026

- ✓ *Lentilles minces*
- ✓ *Système afocal*
- ✓ *Pouvoir de résolution de l'œil*

Une lunette de Galilée comprend un objectif, assimilable à une lentille mince L_1 de centre O_1 et de vergence V_1 = + 5,0 δ et un oculaire, assimilable à une lentille mince L_2 de centre O_2 et de vergence V_2 = - 20 δ.

Quelle que soit la configuration, la lumière traverse toujours la lunette en passant d'abord par l'objectif puis par l'oculaire.

1) Déterminer la nature des lentilles et les valeurs de leurs distances focales images.
2) La lunette est du type « afocale ». Rappeler l'intérêt d'un tel système.
3) Préciser la position relative des deux lentilles et la distance entre les deux lentilles.
4) Réaliser alors un schéma de la lunette de Galilée en choisissant intelligemment les rayons lumineux construits.
5) Définir puis exprimer les grossissements G de la lunette de Galilée en fonction des distances focales.
6) Faire l'application numérique.
7) La lunette de Galilée est, contrairement à la lunette astronomique, adaptée à la vision d'objets terrestres ? Justifier.



8) Un astronome amateur utilise cette lunette pour observer deux cratères lunaires : Copernic (de diamètre 96 km) et Clavius (de diamètre 240 km). L'astronome voit-il ces cratères à l'œil nu ? à l'aide de la lunette ?

Donnée : Distance Terre-Lune : d_{TL} = 384.10³ km,

Exercice 6 : Oculaires ★★☆

Ref. 0027

- ✓ *Doublet de lentilles*
- ✓ *Constructions géométriques*
- ✓ *Relation de conjugaison*

Les oculaires utilisés dans les instruments d'optique (microscope par exemple) sont constitués d'un doublet de deux lentilles. On note f'_1 et f'_2 les distances focales des lentilles et on pose $\Delta = \overline{F'_1F_2}$.

Le doublet est tel que : $f'_1 = 3a$, $f'_2 = a$, et $\overline{O_1O_2} = 2a$. La constante a est positive.

1) Déterminer graphiquement les positions des foyers objet et image, F et F', de l'ensemble du dispositif.
2) Montrer que $\overline{F_1F} = \frac{9a}{2}$ et $\overline{F'_2F'} = -\frac{a}{2}$. Vérifier l'accord avec la construction graphique.

Exercice 7 : Microscope *(D'après Banque PT 2017)* ♥ ★★★

Ref. 0028

- ✓ *Lentille mince*
- ✓ *Constructions*
- ✓ *Relation de conjugaison*
- ✓ *Grandissement transversal*
- ✓ *Grossissement*
- ✓ *Lois de Descartes*

Le microscope est modélisé sur la figure 1, par un système de deux lentilles minces convergentes, l'objectif (lentille L_1 de centre O_1 et de distance focale image f'_1 = 5 mm), et l'autre constituant l'oculaire (lentille L_2 de centre O_2 et de distance focale image f'_2 = 15 mm). On fixe $O_1O_2 = D_0$ = 120 mm. On choisit le sens positif dans le sens de propagation de la lumière.

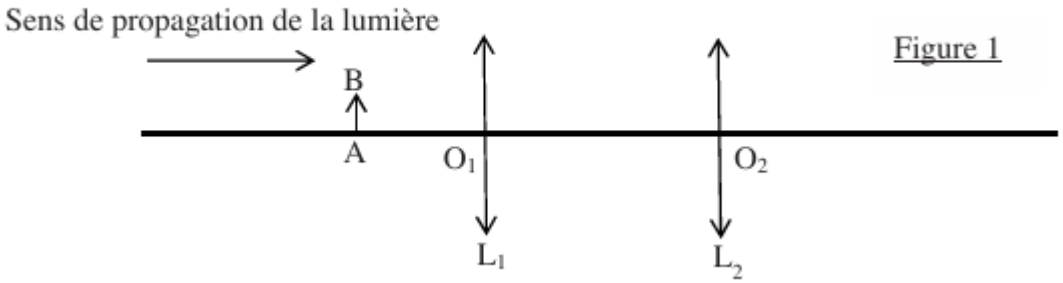


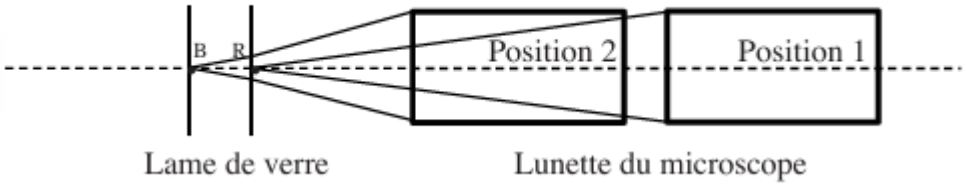
Figure 1

1) Si F'_1 est le foyer image de L_1 et F_2 le foyer objet de L_2, on définit l'intervalle optique par la grandeur algébrique $\Delta = \overline{F'_1F_2}$. Exprimer Δ en fonction de f'_1, f'_2, D_0, puis calculer sa valeur.

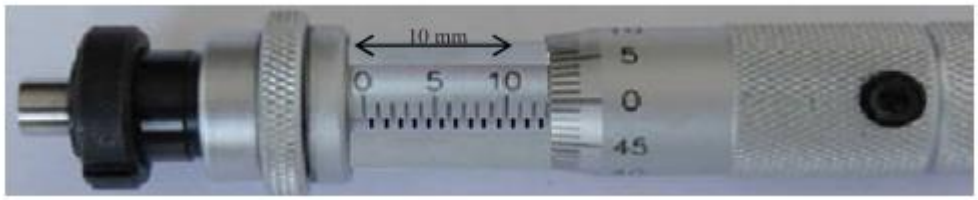
Un objet réel *AB* perpendiculaire à l'axe optique est éclairé et placé à une distance d de L_1, à sa gauche, de façon à ce que l'image *A'B'* donnée par l'objectif, appelée image intermédiaire se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire. L'observation se fait à l'œil placé au contact de l'oculaire.

2) Exprimer d en fonction de f'_1 et Δ, puis calculer sa valeur.
3) Exprimer le grandissement transversal γ_1 induit par l'objectif en fonction de f'_1 et Δ, puis calculer sa valeur.
4) Quel est l'intérêt pour l'observateur de cette position de l'objet ?
5) Faire une construction géométrique faisant apparaître l'objet, l'image intermédiaire, ainsi que l'angle α′ sous lequel est observée l'image finale à travers le microscope.
6) Le grossissement commercial du microscope est défini par $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ où α est l'angle sous lequel serait vu l'objet à l'œil nu placé à une distance D = 250 mm. On n'orientera pas les angles. L'objet étant de très petite taille, ces deux angles seront bien sûr très faibles. Exprimer G en fonction de Δ, D, f'_1 et f'_2, puis calculer sa valeur.

On utilise ce microscope pour mesurer l'épaisseur e d'une mince lame de verre à faces parallèles, d'indice n = 1,5. On colle une petite pastille bleue (B) sur la face gauche de la lame et une petite pastille rouge (R) sur sa face droite. On positionne d'abord la lunette (ensemble objectif + oculaire) du microscope de façon à faire la mise au point sur la pastille rouge (Figure 2, Position 1). Puis, grâce à une vis micrométrique, on translate la lunette d'une distance ε, de façon à faire la mise au point sur l'image de la pastille bleue (Figure 2, Position 2) :



La figure ci-dessous montre la position 2 de la vis micrométrique, la position 1 correspondant à la graduation 40 de la partie mobile.



7) Déterminer la valeur mesurée de ε en mm, avec une estimation de l'incertitude de mesure.
8) En tenant compte du phénomène de réfraction et en considérant les rayons lumineux très peu inclinés par rapport à l'axe optique, exprimer e en fonction de n et ε, puis calculer sa valeur.

Résolution de problème

Exercice 8 : Loupe ★★☆
Ref. 0029

L'objet dont on forme l'image, est situé à 8,0 cm de la loupe. Déterminer la distance focale de la loupe.