

Instruments d'optique

-  Difficulté d'analyse et compréhension, initiative requise ;
-  Difficulté technique et calculatoire ;
-  Exercice important.

Flasher ou cliquer
pour accéder
au corrigé



Se préparer

Applications de cours

Ces applications de cours sont des briques élémentaires des raisonnements à mener dans les exercices : les maîtriser est incontournable. Elles sont toutes traitées de manière exhaustive dans le cours.

O2.1 - Tracer la marche des rayons issus d'un objet à l'infini dans une lunette astronomique. Définir le grossissement et établir (= démontrer) son expression en fonction des focales des lentilles.

O2.2 - Rappeler la modélisation d'un appareil photo. Justifier l'influence de la focale de l'objectif sur le champ.

O2.3 - Rappeler la modélisation d'un appareil photo. En raisonnant sur des schémas qualitatifs¹ (mais raisonnablement propres quand même!), justifier l'influence de l'ouverture du diaphragme sur la profondeur de champ.

Cahier d'Entraînement



Le *Cahier d'Entraînement* est un projet collaboratif mené par des enseignants de CPGE, proposant aux étudiants des entraînements leur permettant de travailler en autonomie sur des techniques et « réflexes » utiles dans les exercices, en particulier calculatoires. Il est librement téléchargeable en scannant ou cliquant sur le QR-code ci-contre.

↪ pour ce chapitre : rien d'intéressant !

Exercice 1 : Correction de la myopie



-  ▶ *Modèle de l'œil ;*
- ▶ *Association de lentilles ;*
- ▶ *Lentille divergente.*

La myopie est un trouble de la vision où le patient concerné voit flou de loin. Plusieurs origines sont possibles, les plus fréquentes étant un œil trop long ou un cristallin trop convergent. Il en résulte dans les deux cas une formation de l'image par le cristallin avant la rétine. Pour la corriger, il faut donc utiliser des lunettes faites de verres divergents.

Dans cet exercice, on considère le cas d'un patient à la myopie dite moyenne, nécessitant une correction par des verres de vergence $V_L = -5 \delta$. Il porte ses lunettes (L) à une distance $a = 1$ cm de son œil. La distance entre le cristallin (C) et la rétine du patient est égale à $d = 2$ cm.

1. Les schémas que j'attends sont du type de la figure 16 du cours. Construire géométriquement la profondeur de champ à main levée au tableau me semble trop difficile, mais vous devez savoir le faire sur une feuille quadrillée si un exercice le demande.

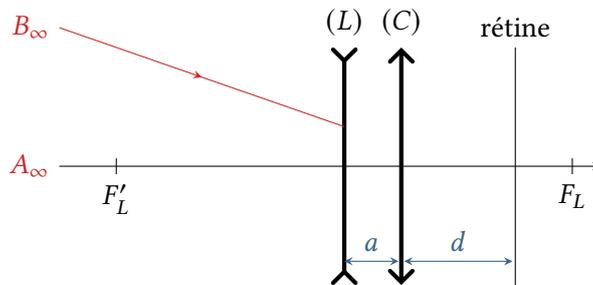


Figure 1 – Un œil myope et un verre de lunettes.

- 1 - Reproduire la figure 1 et tracer l'image $A'B'$ sur la rétine de l'objet AB situé à l'infini.
- 2 - Déterminer la focale f'_C du cristallin lorsque le patient observe au travers de ses lunettes un objet situé à l'infini.
- 3 - En supposant qu'il n'accomode pas dans la situation précédente, montrer que le punctum remotum de l'œil myope, c'est-à-dire la distance maximale à laquelle il peut voir sans ses lunettes, est approximativement égal à la focale des verres correcteurs.
- 4 - Pour un même objet situé à l'infini et lorsqu'il regarde au travers de ses lunettes, un patient myope voit-il une image plus petite ou plus grande qu'un patient emmétrope à la vue normale? On supposera que la distance entre le cristallin et la rétine est la même pour les deux patients.

Correction – 1 - Les rayons sont tracés figure 2.

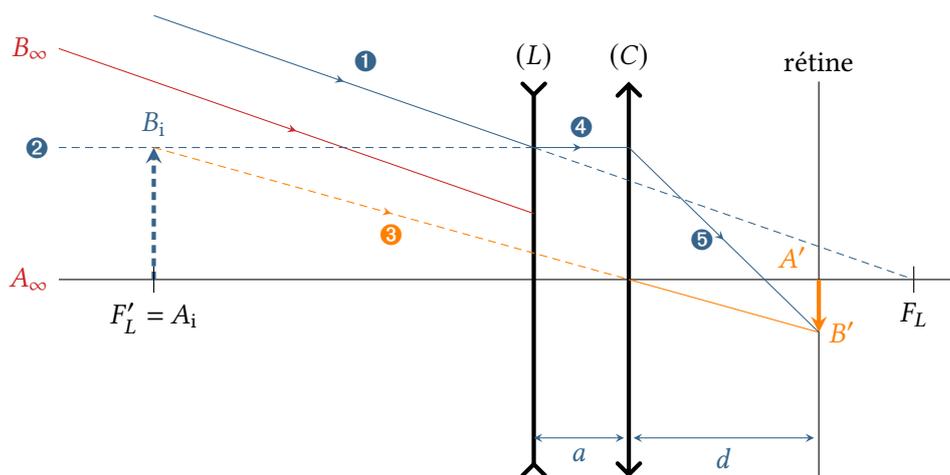


Figure 2 – Tracé des rayons de l'objet jusqu'à la rétine du myope. Figure en couleur sur le site de la classe!

- Question d'analyse 1** - Expliquer la façon dont les (portions de) rayons ① à ⑤ sont construits et leur intérêt.
- Question d'analyse 2** - Pourquoi n'est-il pas gênant que la focale du cristallin ne soit pas donnée pour faire la figure?
- Question d'analyse 3** - Quel(s) rayon(s) suffisent à construire l'image intermédiaire B_i ? Quel(s) rayon(s) suffisent à construire l'image B' ?
- Question d'analyse 4** - Il reste un rayon qui s'arrête au niveau du verre de lunette. À toi de compléter sa marche au delà.

2 - L'image intermédiaire étant dans le plan focal image du verre, la relation de conjugaison appliquée au cristallin donne

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{-a + f'_L} = \frac{1}{f'_C} \quad \text{d'où} \quad f'_C = \frac{d(f'_L - a)}{f'_L - a - d} = 1,8 \text{ cm}$$

Question d'analyse 5 - Justifier les deux signes du « $-a + f'_L$ » apparaissant dans la relation de conjugaison.

3 - Appliquons la relation de conjugaison au cristallin lorsque l'œil regarde à son punctum remotum, situé à une

distance D_{max} .

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{-D_{max}} = \frac{1}{f'_C}$$

et en combinant avec la question précédente,

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{-D_{max}} = \frac{1}{d} - \frac{1}{-a + f'_L} \quad \text{donc} \quad D_{max} = a - f'_L.$$

Comme $a \ll |f'_L|$, on peut effectivement conclure

$$D_{max} \simeq |f'_L|.$$

Question d'analyse 6 - Justifier l'affirmation $a \ll |f'_L|$ à partir des données de l'énoncé. Pourquoi une valeur absolue est-elle nécessaire ?

4 - Considérons un objet à l'infini de hauteur apparente α , c'est-à-dire envoyant des rayons inclinés d'un angle α . L'image formée sur la rétine d'un œil emmétrope après passage au travers du cristallin a une hauteur algébrique

$$h = d \tan \alpha.$$

Question d'analyse 7 - Faire le schéma permettant de montrer cette relation. Quel est le signe de h ?

Pour calculer la hauteur de l'image sur la rétine d'un œil myope, commençons par exprimer la hauteur de l'image intermédiaire, qui vaut

$$h_i = f'_L \tan \alpha.$$

Question d'analyse 8 - Faire le schéma permettant de montrer cette relation. Quel est le signe de h_i ?

Par application de la relation de grandissement au cristallin,

$$\frac{h'}{h_i} = \frac{d}{f'_L - a} \quad \text{soit} \quad h' = \frac{d}{f'_L - a} f'_L \tan \alpha = \frac{f'_L}{f'_L - a} h$$

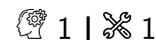
On en conclut $|h'| < |h|$, l'œil myope voit l'image légèrement plus petite que l'œil emmétrope.

Question d'analyse 9 - Justifier l'écriture de la relation de grandissement.

Question d'analyse 10 - Quel est le signe de h' ?

L'œil

Exercice 2 : Pouvoir séparateur de l'œil



▸ Modèle de l'œil.

Le pouvoir séparateur d'un œil emmétrope vaut $\theta_{\min} = 3 \cdot 10^{-4}$ rad : deux points ne peuvent être vus distinctement que si leur écart angulaire est supérieur à cette valeur.

1 - Convertir cette valeur en degrés, puis en minute d'arc.

2 - Déterminer la distance jusqu'à laquelle cet œil peut distinguer deux traits parallèles séparés de 2 mm.

3 - Déterminer l'épaisseur du trait d'une lettre d'un panneau autoroutier lisible à 250 m.

4 - Un aigle royal est capable de repérer une proie mesurant 10 cm à 2 km de distance. Quel est le pouvoir de résolution de ses yeux ?

5 - En modélisant l'œil humain comme une lentille convergente associée à un capteur placé à une distance fixe de 20 mm derrière, déterminer la taille moyenne d'une cellule photosensible de la rétine.

Instruments à plusieurs lentilles

Exercice 3 : Microscope optique

écrit banque PT 2017 |  1 |  2

- Instrument d'optique ;
- Relations de conjugaison ;
- Construction de rayons.

Le microscope est modélisé sur la figure 3 par un système de deux lentilles minces convergentes, l'une constituant l'objectif (L_1 , de centre O_1 et de distance focale image $f'_1 = 5 \text{ mm}$) et l'autre constituant l'oculaire (L_2 de centre O_2 et de distance focale image $f'_2 = 15 \text{ mm}$). On fixe $\overline{O_1O_2} = D_0 = 120 \text{ mm}$. On choisit le sens positif dans le sens de propagation de la lumière.

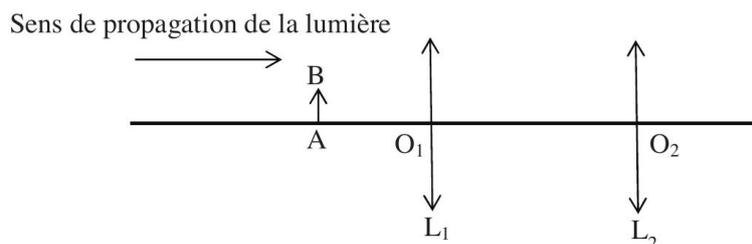


Figure 3 – Schéma du microscope optique classique.

1 - Les relations de conjugaison et de grandissement sont valables à condition que les rayons lumineux satisfassent les conditions de Gauss. Donner ces deux conditions.

2 - 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.

3 - Quel est l'intérêt pour l'observateur de cette position de l'objet ?

4 - Exprimer d en fonction de f'_1 et Δ puis calculer sa valeur.

5 - Exprimer le grandissement γ_1 induit par l'objectif en fonction de f'_1 et Δ puis calculer sa valeur.

6 - 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.

Le grossissement commercial du microscope est défini par $G = |\alpha'/\alpha|$ où α est l'angle sous lequel serait vu l'objet à l'œil nu placé à une distance $D = 250 \text{ mm}$. L'objet étant de petite taille, ces deux angles sont très faibles.

7 - Exprimer G en fonction de Δ, D, f'_1 et f'_2 puis calculer sa valeur.

Exercice 4 : Tripleur de focale de Barlow

oral banque PT |  2 |  2

- Association de lentilles ;
- Lentille divergente.

On souhaite photographier Jupiter à travers un télescope, voir figure 4a, assimilé à une lentille mince convergente de focale $f'_1 = 2550 \text{ mm}$. L'image doit se former sur le capteur. Le tube \mathcal{T}_2 peut coulisser à l'intérieur du tube \mathcal{T}_1 pour régler la mise au point.

Données :

- Les orbites de la Terre et de Jupiter sont coplanaires ;
- Rayon des orbites : $R_T = 1,50 \cdot 10^8 \text{ km}$ et $R_J = 7,80 \cdot 10^8 \text{ km}$;
- Diamètre de Jupiter : $D_J = 1,40 \cdot 10^5 \text{ km}$.

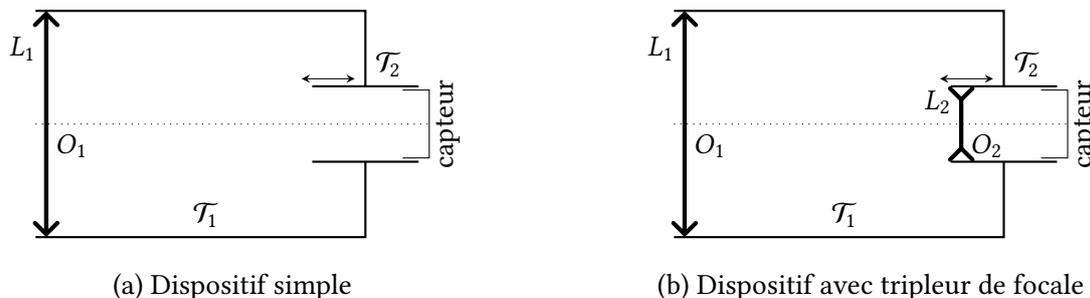


Figure 4 – Dispositif de photographie de Jupiter.

- 1 - Quel est le diamètre apparent maximal α_0 de Jupiter ?
- 2 - À quelle distance placer le capteur pour obtenir une image nette ? Quel est alors le diamètre maximal de Jupiter sur le capteur ?

Pour agrandir l'image, on intercale une lentille divergente L_2 de distance focale f'_2 entre la lentille L_1 et le capteur, voir figure 4b. La distance d entre la lentille L_2 et le capteur est fixe, égale à 200 mm. On admet que le foyer image F'_1 de la lentille L_1 se situe entre la lentille L_2 et le capteur.

- 3 - Compléter la figure 5 en traçant le point image B' du point objet B situé à l'infini.

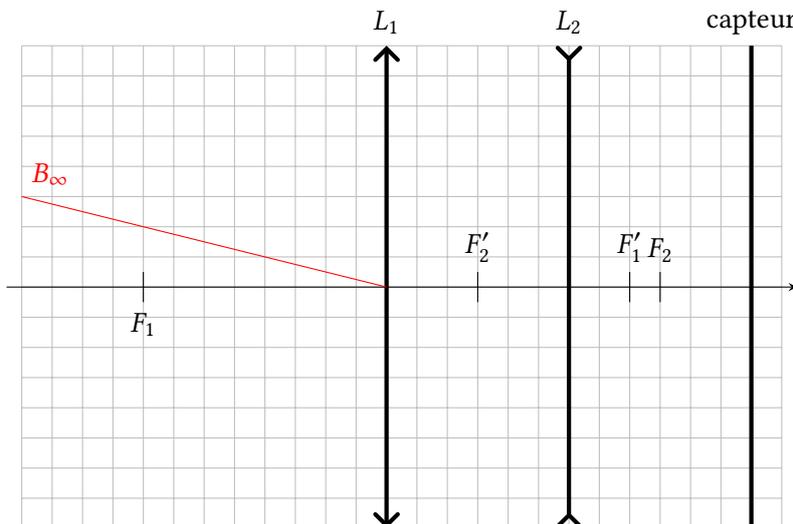


Figure 5 – Marche des rayons dans l'instrument.

- 4 - Comment faut-il choisir f'_2 et comment placer le tube T_2 pour que le dispositif produise sur le capteur une image de Jupiter trois fois plus grande que précédemment ?
- 5 - Le dispositif est alors qualifié de « tripleur de focale ». Expliquer.

Exercice 5 : Lunette de Galilée



- Association de lentilles ;
- Lentille divergente ;
- Modèle de l'œil.

La lunette astronomique donne une image finale renversée par rapport à l'objet : elle n'est donc pas adaptée à l'observation d'objets terrestres éloignés, pour lesquels on veut une image droite. Une première solution consiste à ajouter une troisième lentille convergente à l'intérieur de la lunette astronomique, ce qui donne un instrument appelé lunette terrestre. La lunette de Galilée consiste au contraire à remplacer l'oculaire convergent de la lunette astronomique par un oculaire divergent. On notera L_1 la lentille convergente modélisant l'objectif et L_2 la lentille divergente modélisant l'oculaire.

1 - Justifier que la lunette de Galilée doit être un instrument d'optique afocal. En déduire que le foyer image F'_1 de l'objectif doit être confondu avec le foyer objet F_2 de l'oculaire.

2 - Les représenter sur un schéma en prenant $|f'_1| = 4|f'_2|$ (cela ne correspond pas aux valeurs réelles des focales). Construire l'image par la lunette de Galilée d'un objet AB situé à l'infini.

3 - On note α la taille apparente de l'objet en entrée de la lunette et α' la taille apparente de l'image. Calculer le grossissement de la lunette de Galilée. Conclure : l'image est-elle comme on le souhaite droite et agrandie ?



4 - La première lunette construite par Galilée était longue d'une quarantaine de centimètres et permettait d'avoir un grossissement d'environ 30. En déduire les focales des lentilles qu'il utilisait.

5 - Pour montrer à ses mécènes l'efficacité de son instrument, Galilée les invita sur une colline proche de Venise à observer l'île de Murano, distante de 3 km. L'histoire raconte que les riches vénitiens furent extrêmement impressionnés de voir les habitants de Murano avec une précision telle qu'ils les voyaient bouger au travers de la lunette alors qu'ils pouvaient à peine les distinguer à l'œil nu. Cela vous semble-t-il possible ?

Exercice 6 : Lunette astronomique

extrait CCINP PC 2015 |  3 |  2



► Association de lentilles.

La lunette astronomique est un système centré constitué d'un objectif et d'un oculaire. L'objectif est assimilé à une lentille mince convergente de centre optique O_1 , de distance focale f'_1 et de diamètre D_1 . L'oculaire est une lentille mince convergente de centre optique O_2 , de distance focale f'_2 et de diamètre D_2 .

L'objectif donne d'un objet éloigné une image réelle appelée image objective. Cette dernière est observée au moyen de l'oculaire.

1 - À quelle condition l'œil d'un observateur, supposé sans défaut, n'accomode pas (ne se fatigue pas) ? En déduire la position relative de l'objectif et de l'oculaire.

2 - Ce système optique possède-t-il des foyers ? Comment se nomme un tel système optique ?

3 - Reproduire le schéma figure 6, sans respecter les échelles, et montrer le devenir d'un rayon incident **ne passant pas par O_1** mais faisant un angle θ avec l'axe optique et émergeant sous un angle θ' dans les conditions de Gauss.



Figure 6 – Schéma d'une lunette astronomique.

4 - Déterminer l'expression du grossissement de la lunette $G = \theta'/\theta$ en fonction de f'_1 et f'_2 et calculer ce grossissement pour $f'_1 = 1,0$ m et $f'_2 = 20$ mm.

5 - On considère un faisceau lumineux issu d'un point objet A à l'infini sur l'axe optique de la lunette, figure 7. Sans respect des échelles, reproduire le schéma et représenter le devenir d'un tel faisceau lumineux limité par la monture de la lentille objectif, encore appelée diaphragme d'ouverture.

6 - Exprimer le diamètre D du faisceau de rayons issu de l'oculaire en fonction du grossissement G de la lunette ainsi que du diamètre D_1 du diaphragme d'ouverture.

7 - Après avoir calculé la valeur numérique du diamètre D du faisceau de rayons issu de l'oculaire, montrer que c'est le diaphragme d'ouverture, de diamètre D_1 , qui le limite et non l'oculaire de diamètre D_2 . On donne $D_1 = 10$ cm et $D_2 = 6$ mm.

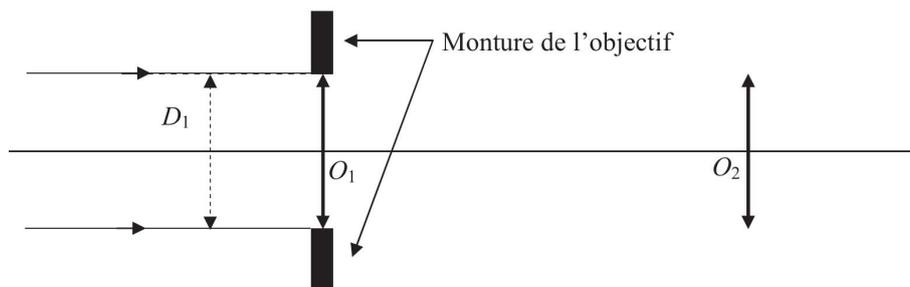


Figure 7 – Diaphragme d'ouverture d'une lunette astronomique.

8 - On considère un objet ponctuel situé à l'infini en dehors de l'axe optique et dans la direction θ par rapport à ce dernier, figure 8. Expliquer, de façon qualitative, ce qu'il advient des rayons lumineux lorsque l'angle θ devient trop important.

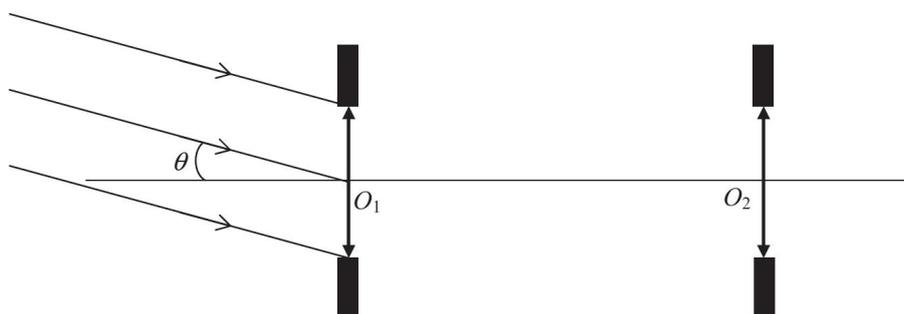


Figure 8 – Diaphragme de champ d'une lunette astronomique.

9 - On dit de la monture de l'oculaire qu'elle est le diaphragme de champ de la lunette. Justifier cette affirmation.

Appareil photo

Exercice 7 : Distance hyperfocale d'un appareil photo oral banque PT | 🧠 2 | ✂️ 2 | 🚫

- ▶ Appareil photo ;
- ▶ Profondeur de champ.

On étudie la distance hyperfocale d'un appareil photographique, c'est-à-dire la distance à partir de laquelle l'image est nette lorsque la mise au point est faite à l'infini. L'objectif est modélisé par une lentille mince convergente de focale $f' = 50$ mm, le diaphragme par un cercle de diamètre $D = 4$ mm.

1 - Schématiser la situation en indiquant les foyers et la position du capteur.

Toujours en effectuant la mise au point à l'infini, on s'intéresse à un objet A placé sur l'axe optique à une distance d de l'objectif. On note Δ la distance $F'A'$ entre le foyer image de l'objectif et l'image A' de A .

2 - Montrer que

$$\Delta = \frac{f'^2}{d - f'}$$

Proposer une approximation sachant que $d \geq 1$ m.

3 - Montrer à l'aide d'un schéma que le diamètre de la tâche lumineuse sur le capteur s'approche par Df'/d .

4 - On considère un appareil photo dont le cercle de confusion a pour diamètre $a = 0,02$ mm. Le cercle de confusion est le plus grand diamètre au niveau du capteur d'une tâche lumineuse perçue nette sur la photo. En déduire la distance hyperfocale, c'est-à-dire la plus petite valeur de d pour laquelle l'image est nette.