

Chapitre P12

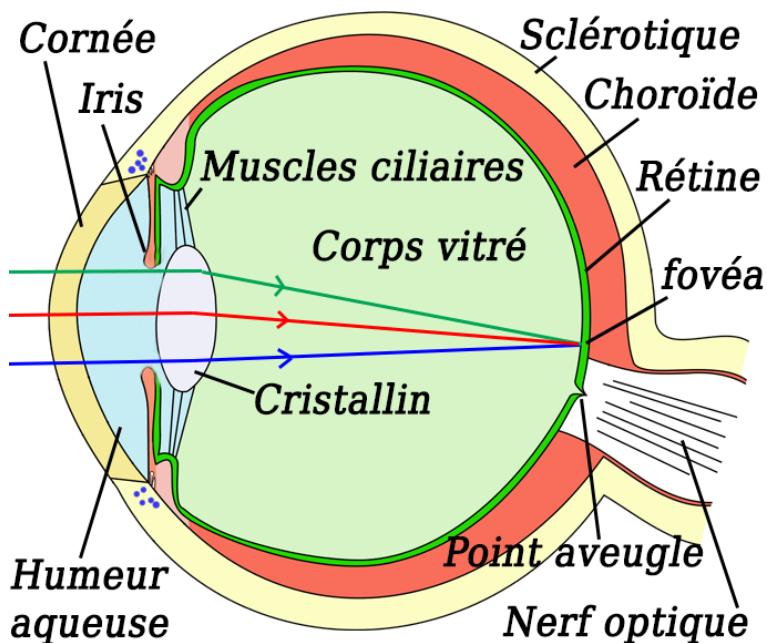
Instruments d'optique

Notions et contenus	Capacités exigibles
L'œil. Punctum proximum, punctum remotum.	Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur plan fixe. Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.
L'appareil photographique.	Modéliser l'appareil photographique comme l'association d'une lentille et d'un capteur. Construire géométriquement la profondeur de champ pour un réglage donné. <i>Capacité expérimentale : étudier l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation de l'image.</i>

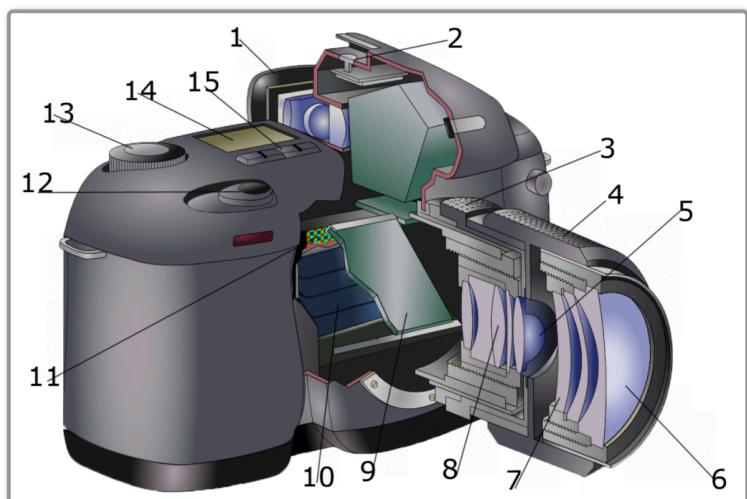
Questions de cours

- Donner une modélisation optique de l'œil. Décrire le principe de l'accommodation.
- Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation de l'œil.
- Donner la constitution d'une lunette astronomique, représenter le cheminement d'un rayon issu d'un point-objet à l'infini et définir le grossissement.
- Donner une modélisation optique d'un appareil photographique. Indiquer comment se fait la mise au point.

Document 1. Œil



Document 2. Appareil photo numérique



- 1 - Œilleton
- 2 - Griffes pour le flash et autres accessoires
- 3 - Bague de mise au point manuelle
- 4 - Bague de focale
- 5 - Diaphragme
- 6 - Lentille externe de l'objectif
- 7 - Groupe de lentilles pour la mise au point
- 8 - Groupe de lentilles pour la mise au point
- 9 - Miroir reflex à 45°
- 10 - Obturateur mécanique (ou double rideaux)
- 11 - Capteur numérique
- 12 - Bouton de prise de vue
- 13 - Sélecteur de mode d'utilisation
- 14 - Ecran de contrôle
- 15 - Boutons de paramétrage

Exercice de cours A. Modèle de l'œil

Un œil normal (emmétrope) est modélisé par une lentille convergente et d'un écran situé à une distance $d = 17,0$ mm derrière la lentille. Sa plage de vision distincte est comprise entre 25 cm et l'infini.

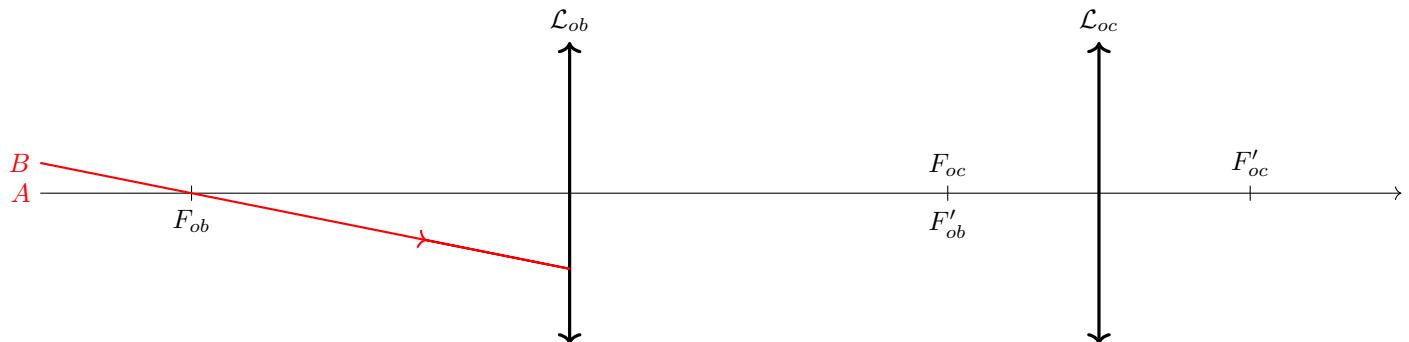
1. Déterminer l'intervalle de variation de la vergence de la lentille modélisant l'œil.
2. On rappelle que la limite de résolution angulaire de l'œil est d'environ $1'$. Quels détails l'œil peut-il résoudre au PP ?

Exercice de cours B. Lunette astronomique

Une lentille astronomique est constituée d'un objectif et d'un oculaire convergents, que l'on peut modéliser par deux lentilles minces convergentes de même axe optique :

- l'objectif \mathcal{L}_{ob} de distance focale f'_{ob} a pour centre optique O_{ob} , et pour foyers F_{ob} et F'_{ob} .
- l'oculaire \mathcal{L}_{oc} de distance focale f'_{oc} a pour centre optique O_{oc} , et pour foyers F_{oc} et F'_{oc} .

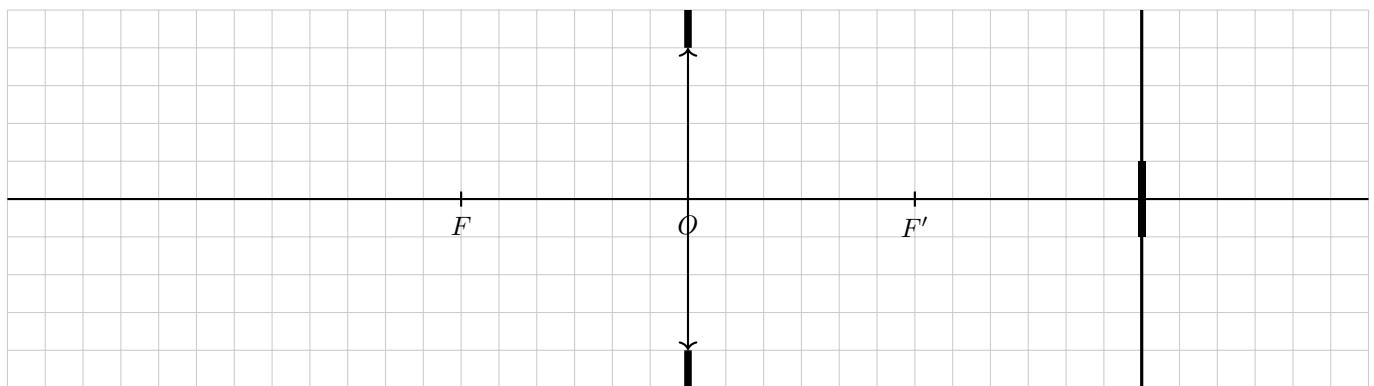
On impose de plus que le foyer objet de l'oculaire est confondu avec le foyer image de l'objectif.



1. Où se trouve l'image par la lunette d'un objet situé à l'infini ? Comment qualifie-t-on ce type de système ?
2. Soit un objet AB situé à l'infini, de diamètre angulaire θ , tel que A est sur l'axe optique. Sur le schéma précédent, prolonger le cheminement du rayon issu de B et traversant les deux lentilles. Indiquer l'angle θ' sous lequel l'image $A'B'$ de AB est vue à travers la lunette. L'image est-elle droite ou renversée ?
3. Déterminer l'expression du grossissement $G = \frac{\theta'}{\theta}$ en fonction des distances focales uniquement. On suppose les angles faibles.

Exercice de cours C. Profondeur de champ d'un appareil photo

Un appareil photo numérique est modélisé ci-dessous, avec un diaphragme de diamètre D que l'on suppose par simplicité à la même position que la lentille de focale f' .



Le capteur CCD se trouve à la distance $L > f'$. Toute image dont l'étendue est inférieure à une valeur critique δ_c liée aux caractéristiques des éléments du capteur, est vue nette. Elle est matérialisée en gras sur le schéma.

1. Déterminer graphiquement la position sur l'axe optique des points images extrêmes B' et C' vus nettement sur le capteur.
2. Donner l'expression de $\overline{OB'}$ et $\overline{OC'}$ en fonction de D , δ_c et L .
3. Déterminer graphiquement la position des points objets B et C conjugués à B' et C' respectivement.
4. Exprimer \overline{OB} et \overline{OC} à l'aide d'une relation de conjugaison.
5. Délimiter sur le schéma la profondeur de champ dans cette configuration. Donner son expression littérale.
6. Comment évolue la profondeur de champ quand l'ouverture du diaphragme augmente ?

Exercice 1. Mise au point d'un appareil photo

Un appareil photo possède un objectif à focale fixe $f' = 50$ mm.

- À quelle distance se trouve le capteur de la lentille mince modélisant l'objectif pour une mise au point à l'infini ?
- De quelle distance, nommée tirage, faut-il éloigner le capteur de l'objectif pour faire la mise au point sur un objet situé à 2 m de l'appareil photo ?
- Le tirage maximal étant de 5 mm, à quelle distance minimale est-il possible de faire la mise au point ?

Exercice 2. Oculaire

Un oculaire permet d'envoyer à l'infini l'image fournie par l'objectif d'un instrument d'optique. On définit le grossissement commercial d'un oculaire comme le rapport $G = \frac{\theta'}{\theta}$, où θ' est l'angle sous lequel l'image est vue à travers l'oculaire et θ est l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu à une distance $d_m = 25$ cm.

Soit un oculaire modélisé par une lentille mince convergente de distance focale f' .

- Où se trouve l'objet pour cette lentille ? Faire un schéma représentant la lentille et un objet transversal AB situé en cet endroit, avec A sur l'axe optique.
- Où se trouve l'image A' de A ? Localiser la direction de l'image B' en B en traçant quelques rayons particuliers. Indiquer l'angle θ' sous lequel on voit l'image.
- Exprimer θ et θ' en fonction de d_m , f' et AB la taille transversale de l'objet.
- En déduire l'expression du grossissement commercial en supposant ces angles faibles.

Exercice 3. Myopie

Un œil myope est « trop long », c'est-à-dire que la rétine se trouve plus loin que le foyer image, ce qui ne lui permet pas de voir nettement les objets lointains.

Soit un œil myope modélisé par une lentille mince convergente dont la vergence peut varier de $V_{\min} = 59\delta$ à $V_{\max} = 64\delta$ par accommodation, et d'un capteur situé à la distance $d = 18,2$ mm de la lentille.

- Calculer le PP et le PR pour cet œil.

Pour corriger cet œil, on peut utiliser des lunettes dont chaque verre est modélisé par une lentille mince situé à la distance $e = 1,0$ cm de l'œil.

- Quelle doit être la nature de la lentille ?
- Calculer la vergence nécessaire pour amener le PR à l'infini.
- En déduire la nouvelle position du PP.

Exercice 4. Distance hyperfocale d'un appareil photo

Soit un appareil photo dont l'objectif est modélisable par une lentille mince de distance focale $f' = 50$ mm.

On nomme distance hyperfocale h , la distance au-delà de laquelle tous les objets ont une netteté acceptable avec une mise au point à l'infini. C'est en quelque sorte la profondeur de champ à l'infini. Comme toute profondeur de champ, elle dépend du diamètre du diaphragme D et de l'étendue critique δ_c des images sur le capteur.

- Déterminer l'expression de h en fonction de D , δ_c et f' .

Le capteur CCD de l'appareil photo étudié a pour largeur 24 mm et pour longueur 36 mm, et est composé de 22 millions de pixels.

- Calculer la taille d'un pixel (supposé carré) du capteur. En déduire δ_c qui est de l'ordre de 3 fois la taille d'un pixel.
- Calculer la distance hyperfocale de l'appareil photo pour une ouverture $D = f'/8$. Commenter.

Exercice 5. Lunette de Galilée

La lunette inventée par Galilée est composée de deux lentilles (L_1), convergente de distance focale f'_1 , et (L_2), divergente de distance focale f'_2 , distantes de d . La lunette permet l'observation d'objets supposés à l'infini. De plus, afin que l'œil ne se fatigue pas, l'image qu'en fait le système est rejetée à l'infini.

- Quelle doit-être la disposition relative des deux lentilles pour que l'observation soit conforme à l'énoncé ? Pourquoi parle-t-on de système afocal ?
- On observe un objet AB , étendu spatialement, placé à l'infini et de diamètre apparent α , le point A étant positionné sur l'axe optique. Construire les rayons émergents issus de A et B , on notera $A'B'$ l'image de cet objet par la lentille (L_1) et $A''B''$ l'image de $A'B'$ par la lentille (L_2). Dans quel sens est vue l'image ?

3. On appelle $\alpha'' = \widehat{A''O_2B''}$ l'angle sous lequel on observe l'objet à la sortie de la lentille L_2 . Exprimer le grossissement $G = \frac{\alpha''}{\alpha}$ (les angles étant faibles), en fonction des distances focales f'_1 et f'_2 .
Application numérique pour $f'_1 = 50$ cm et $f'_2 = -20$ mm.
4. Avec cette lunette, peut-on distinguer le cratère de Copernic de diamètre $D = 96$ km à la surface de la Lune située à $d_{TL} = 3,84 \times 10^8$ m de la Terre ?
5. Sur une nouvelle figure, tracer le cheminement du faisceau issu d'un point à l'infini sur l'axe optique et pénétrant dans la lunette. Déterminer le rapport entre la largeur du faisceau sortant de la lunette et celle du faisceau entrant. En déduire l'intérêt d'une lunette pour l'observation d'étoiles lointaines.

Exercice 6. Microscope

Un microscope est un instrument d'optique destiné à observer des objets de petite taille. C'est un système centré constitué de deux ensembles de lentilles :

- l'objectif qui donne une image réelle A_1B_1 de l'objet AB . On modélise l'objectif par une lentille mince (\mathcal{L}_1) de distance focale f'_1 ;
- l'oculaire qui donne une image agrandie $A'B'$ de A_1B_1 . Cette image définitive est virtuelle de sorte à être visible en regardant à l'œil nu à travers l'objectif. On modélise l'oculaire par une lentille mince (\mathcal{L}_2) de distance focale f'_2 .

Objectif et oculaire sont à distance fixe. On nomme $\Delta = \overline{F'_1F_2} > 0$ l'intervalle optique du microscope.

Pour les applications numériques, on considérera un microscope tel que : $f'_1 = 1,6$ cm ; $f'_2 = 1,0$ cm et $\Delta = 16,0$ cm.

1. Où doit se trouver l'image intermédiaire A_1B_1 pour une observation sans effort ? Faire un schéma (sans souci d'échelle) représentant les lentilles (\mathcal{L}_1) et (\mathcal{L}_2). Placer A_1B_1 à l'endroit choisi (de taille quelconque), puis tracer les rayons permettant de déterminer l'objet AB et l'image définitive $A'B'$.
2. Déterminer la position de l'objet AB ainsi que le grossissement γ_1 de l'objectif, en fonction de f'_1 et Δ . Faire l'application numérique.
3. Placer sur le schéma l'angle α' sous lequel on observe l'image définitive $A'B'$. Donner son expression en fonction de f'_2 et de la taille A_1B_1 en le supposant petit.
4. En déduire l'expression de la puissance du microscope, définie par $P = \frac{\alpha'}{AB}$, en fonction de f'_1 , f'_2 et Δ . Quelle taille minimale ont les détails pouvant être distingués par l'œil à travers le microscope, à sa limite de résolution ?
5. Tous les rayons qui traversent l'objectif passent en sortie du microscope à travers l'image donnée par l'oculaire de cet objectif. C'est un disque dont le contour est nommé **cercle oculaire**. C'est donc l'endroit où la lumière est la plus concentrée, et où on place la pupille de l'œil pendant une observation.

Faire un schéma pour illustrer ce cercle. Déterminer l'expression de sa position par rapport à l'oculaire, en fonction de f'_1 , f'_2 et Δ .

Réponses

Exercice 1 : 2. $\overline{F'A'} = 1,3$ mm ; 3. $OA_{\min} = 550$ mm.

Exercice 2 : 4. $G = d_m/f'$.

Exercice 3 : 1. $PR = 25$ cm ; $PP = 11$ cm ; 3. $V_c = -4,2\delta$; 4. $PP' = 17$ cm.

Exercice 4 : 1. $h = Df'/\delta_c$; 2. $\delta_c = 19$ µm ; 3. $h = 16$ m.

Exercice 5 : 3. $G = 25$; 4. $\alpha = 2,5 \times 10^{-4}$ rad ; $\alpha' = 6,3 \times 10^{-2}$ rad.

Exercice 6 : 1. $\overline{F_1A} = -0,16$ mm ; 2. $\gamma_1 = -10$; 4. $P = 1,0 \times 10^3$ m⁻¹ ; 5. $AB_{\min} = -0,3$ µm ; 6. $\overline{F'_2O'_1} = 0,57$ mm.