

Première partie

semestre 1

Liste des chapitres du semestre 1

1 Lois de l'optique géométrique	3
Exercice 1 : Doublage de fréquence	3
Exercice 2 : Incidence de Brewster	3
Exercice 3 : Hauteur d'un miroir	3
Exercice 4 : Détection de pluie sur un pare-brise	3
Exercice 5 : Déviation d'un rayon lumineux	3
Exercice 6 : Distance apparente à travers un dioptré	4
Exercice 7 : Réfractomètre de Pulfrich	4
Exercice 8 : Demi-Boule de verre :	4
2 Lentilles minces	5
Exercice 1 : Construire l'objet	5
Exercice 2 : En entier!	6
Exercice 3 : Distance entre objet et image	6
Exercice 4 : Petit problème à résoudre	6
Exercice 5 : Les malheurs de Sophie	6
3 Systèmes optiques	7
Exercice 1 : Pouvoir séparateur de l'œil	7
Exercice 2 : Lunette de Galilée	7
Exercice 3 : Étude d'un téléobjectif d'appareil photographique	7
Exercice 4 : Lentilles de contact	7
Exercice 5 : Distance hyperfocale	8
Exercice 6 : Principe d'un viseur	8
Exercice 7 : Distance hyperfocale	8
Exercice 8 : Doublet de Huygens	8

TD 1 : Lois de l'optique géométrique

Questions d'application directe

- Q.1** Donner les relations existant entre la longueur d'onde dans le vide, la fréquence, et la célérité de la lumière. Donner les valeurs pour différentes couleurs.
- Q.2** Présenter les différents types de sources lumineuses.
- Q.3** Construire graphiquement l'image d'un point objet par un miroir plan, et déterminer sa position en utilisant les lois de la réflexion.
- Q.4** Établir la condition de réflexion totale. Attention, « la » condition est double : elle concerne à la fois les indices et l'angle d'incidence.
- Q.5** Définir le cône d'acceptance d'une fibre optique à saut d'indice, et déterminer l'expression de l'ouverture numérique en fonction des indices optiques.
- Q.6** Déterminer le débit maximal d'information que peut transmettre une fibre optique à saut d'indice de longueur L .

Exercices d'entraînement

Exercice 1 : Doublage de fréquence

Le rayon laser utilisé à l'observatoire du CERGA pour mesurer la distance Terre-Lune est obtenu par doublage de fréquence à partir d'un laser de longueur d'onde $\lambda_1 = 1,064 \mu\text{m}$.

- Q.1** Quelle est la longueur d'onde λ_2 de la lumière envoyée vers la Lune ? Quelle est sa couleur ?
- Q.2** On envoie en fait des impulsions durant $0,1 \text{ ns}$. Calculer le nombre d'oscillations du signal lumineux dans une impulsion.

Exercice 2 : Incidence de Brewster

Un dioptre plan sépare l'air d'indice égal à $n_{\text{air}} = 1,00$ d'un autre milieu d'indice n . Un rayon lumineux arrive avec un angle d'incidence i sur ce dioptre.

- Q.1** Exprimer en fonction de i et de l'angle de réfraction i' l'angle α formé par le rayon partiellement réfléchi avec le rayon réfracté.
- Q.2** En déduire en fonction de n l'expression de l'angle d'incidence i_b tel que le rayon partiellement réfléchi soit perpendiculaire au rayon réfracté.

Exercice 3 : Hauteur d'un miroir

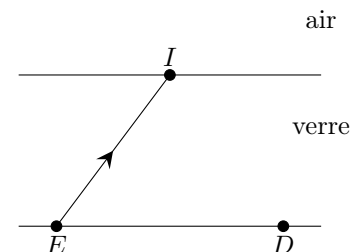
Un homme mesurant $1,80 \text{ m}$ est situé à $d = 1 \text{ m}$ d'un miroir plan. La distance entre les yeux et le haut de son crâne vaut 10 cm . Le miroir a une hauteur H et son extrémité inférieure est située à une distance h du sol.

- Q.1** Donner une ou des conditions sur h et H pour l'homme puisse se voir entièrement. S'il ne se voit pas en entier, faut-il qu'il se recule ou qu'il s'avance pour améliorer les choses ?

Exercice 4 : Détection de pluie sur un pare-brise

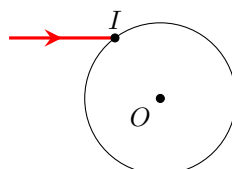
On modélise un pare-brise par une lame de verre à faces parallèles, d'épaisseur $e = 5 \text{ mm}$, d'indice $n_v = 1,5$. Un fin pinceau lumineux issu d'un émetteur situé en E arrive de l'intérieur du verre sur le dioptre verre/air en I avec un angle d'incidence $i = 60^\circ$.

- Q.1** Montrer que le flux lumineux revient intégralement sur le détecteur situé en D et déterminer la distance ED .
- Q.2** Lorsqu'il pleut, une lame d'eau d'indice $n_e = 1,33$ et d'épaisseur $e' = 1 \text{ mm}$ se dépose sur le pare-brise. Représenter le rayon lumineux dans ce cas. À quelle distance du détecteur arrive-t-il ?



Exercice 5 : Déviation d'un rayon lumineux

On considère une goutte d'eau sphérique d'indice $n = 1,33$. Un rayon pénètre au point I dans la goutte avec un angle d'incidence i_1 . Il se réfracte une nouvelle fois au point J où il émerge de la goutte. On définit D comme l'angle de déviation entre le rayon qui pénètre dans la goutte et le rayon qui émerge de la goutte.



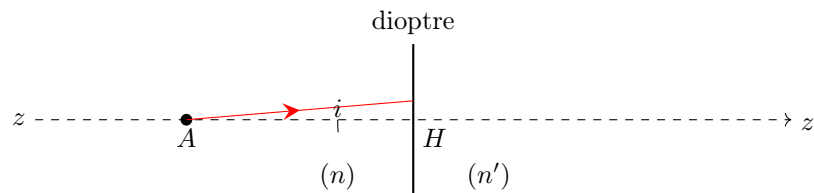
- Q.1** Exprimer l'angle de réfraction r_1 à l'intérieur de la goutte en fonction de n et i_1 .

Q.2 Donner la relation entre l'angle d'incidence i_2 en J et l'angle de réfraction r_1 en I .

Q.3 Exprimer puis calculer D pour $i_1 = -45^\circ$.

Exercice 6 : Distance apparente à travers un dioptre

On considère un dioptre plan séparant deux milieux transparents d'indices respectifs $n > n'$. Soit A un point situé sur l'axe (zz') normal au dioptre. On note i l'angle incident et i' l'angle réfracté.



Q.1 Construire A' image de A par le dioptre. Prolonger le rayon réfracté jusqu'à l'intersection avec l'axe (zz') qu'on appellera A' . Le dioptre est-il stigmatique ?

Q.2 Déterminer une relation entre AH , $A'H$, i et i' , puis entre AH , $A'H$, n et n' en se plaçant dans la limite des petits angles.

On considère un poisson dans un aquarium à une distance de 5 cm de la vitre, épaisse de 8 mm. On donne $n_{\text{eau}} = 1,33$, $n_{\text{verre}} = 1,50$ et $n_{\text{air}} = 1,00$.

Q.3 Donner la position de l'image du poisson vue par un chat situé face à la vitre.

Pour approfondir

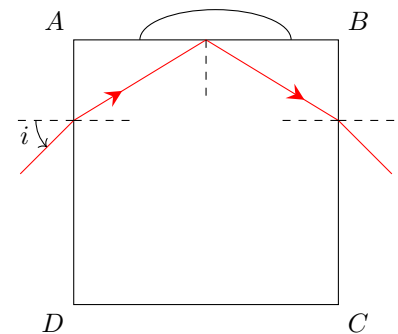
Exercice 7 : Réfractomètre de Pulfrich

On veut mesurer l'indice de réfraction n d'un liquide. On dépose une goutte de ce liquide sur un cube de verre transparent d'indice $N = 1,50$. On éclaire ce cube par un faisceau lumineux d'incidence i variable sur la face d'entrée AD . On mesure la valeur de l'angle limite d'incidence i_l pour laquelle la goutte apparaît lumineuse.

Q.1 Justifier pourquoi pour $i \geq i_l$, la goutte est si lumineuse.

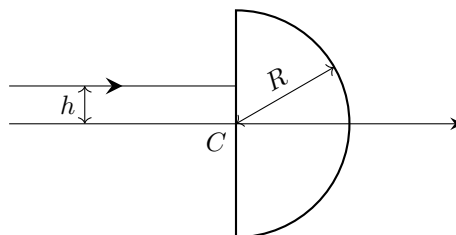
Q.2 Déterminer alors l'indice de réfraction n en fonction de N et i_l .

Q.3 Montrer que ce réfractomètre mesure des indices n compris entre deux valeurs à déterminer.



Exercice 8 : Demi-Boule de verre :

On considère une demi-boule de verre de centre C et de rayon, d'indice n . On éclaire cette boule par un faisceau de rayons lumineux parallèle à cet axe. On observe les rayons transmis par le dispositif.



Q.1 Reproduire et légender le schéma ci-dessus.

Q.2 On considère un rayon lumineux proche de l'axe. Dessiner la marche de ce rayon lumineux. On définit le point F' comme l'intersection entre le rayon émergent de la demi-boule et l'axe de la demi-boule. A quelle distance de C se trouve-t-il ?

Q.3 Montrer que si $h \ll R$ la position de F' est indépendante de h .

Q.4 On considère un rayon lumineux éloigné de l'axe. Quel phénomène observe-t-on ?

Q.5 En déduire la distance à l'axe à partir de laquelle un rayon incident ne sera pas observé par un observateur placé de l'autre côté du dispositif ?

TD 2 : Lentilles minces

Questions d'application directe

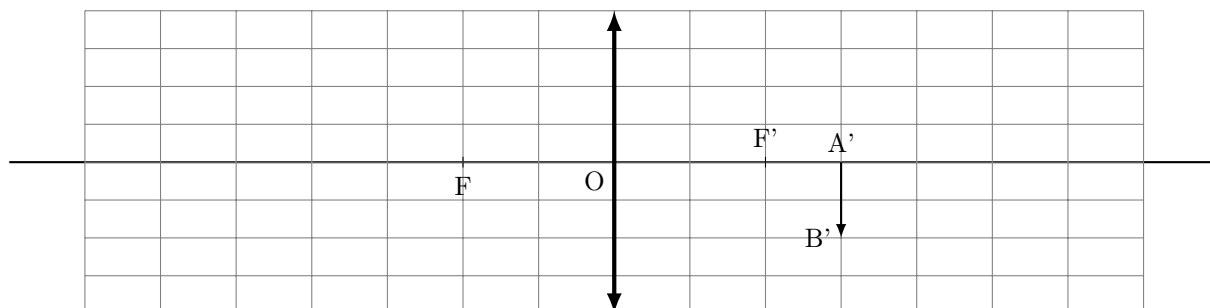
- Q.1** Définir le stigmatisme et l'aplanétisme. Énoncer les conditions de Gauss et expliquer pourquoi celui-ci permet d'obtenir un stigmatisme approcher.
- Q.2** Construire l'image à travers une lentille convergente ou divergente d'un objet situé à une position quelconque (réel, virtuel, à l'infini). Donner la nature de l'image.
- Q.3** Définir le grandissement puis établir les relations de conjugaison.
- Q.4** Établir la condition de projection par une lentille de focale f' d'un objet A situé à une distance D d'un écran.

Exercices d'entraînement

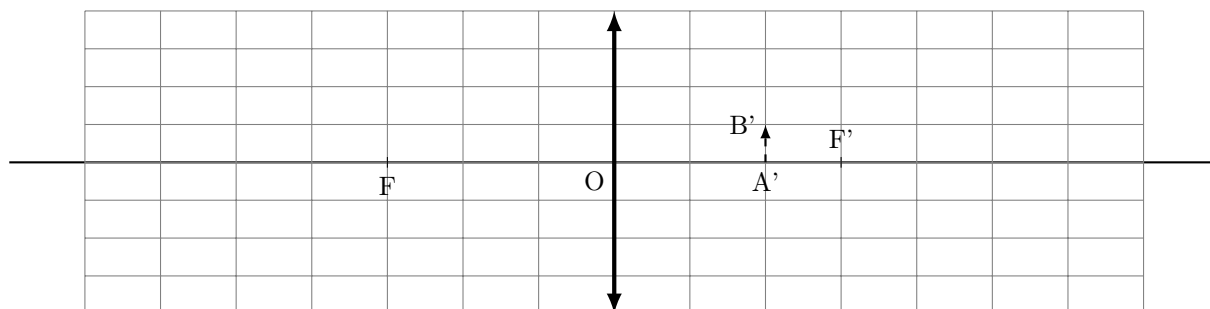
Exercice 1 : Construire l'objet

Reproduire sur votre feuille et réaliser les constructions demandées pour déterminer la position et la nature de l'objet AB .

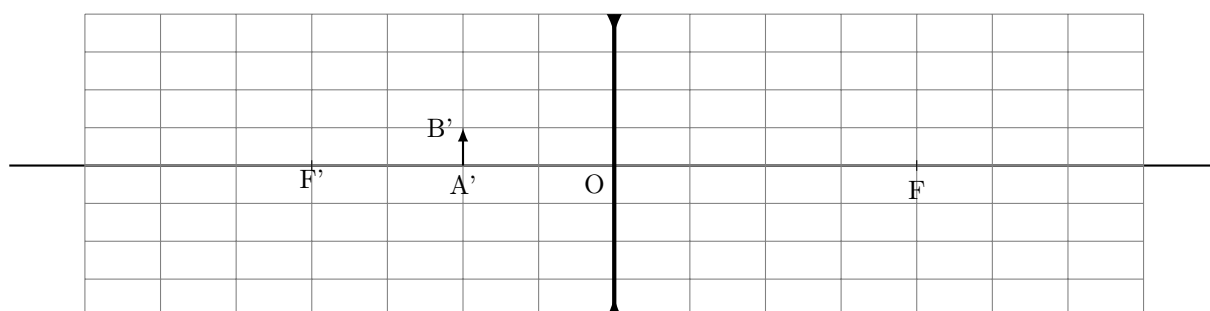
Q.1



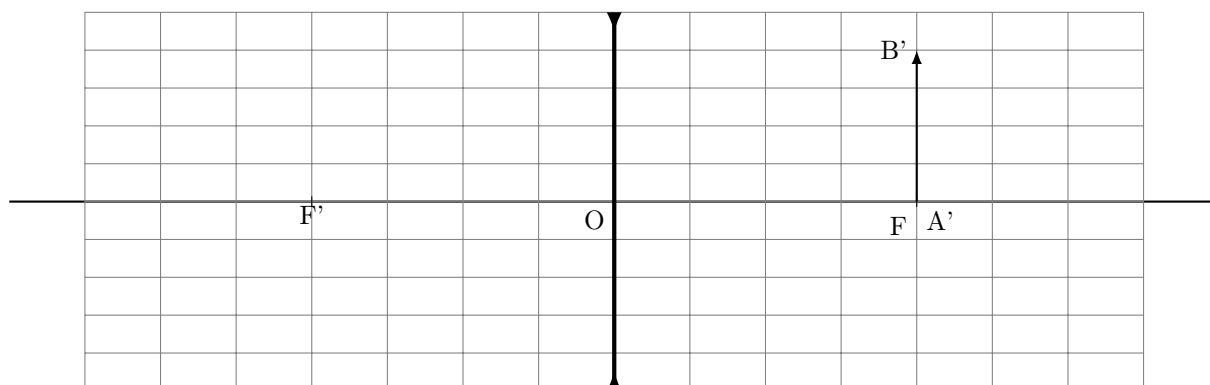
Q.2



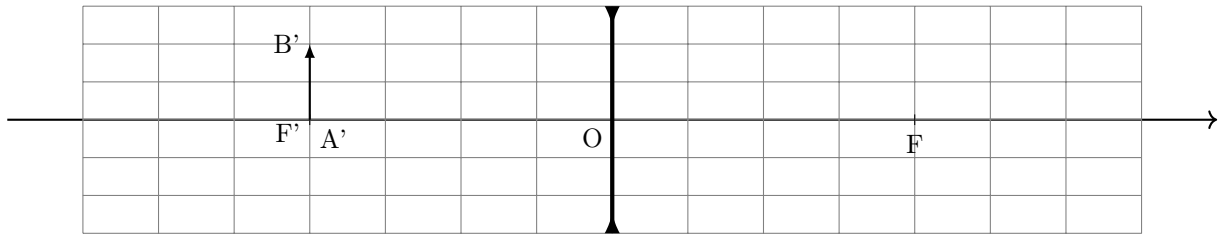
Q.3



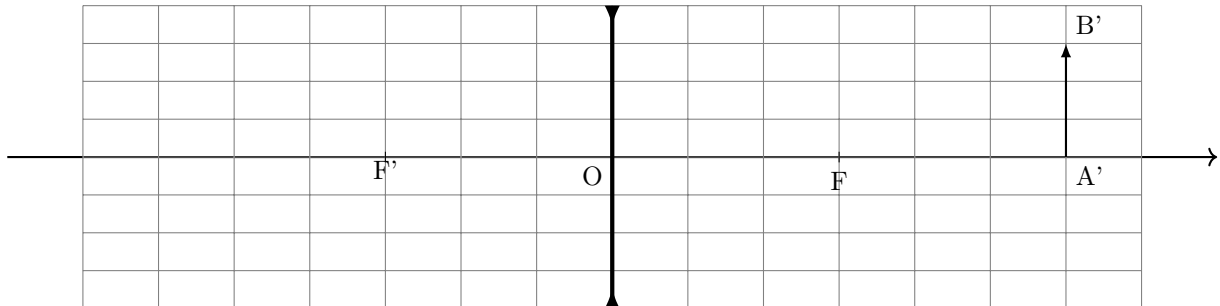
Q.4



Q.5



Q.6

**Exercice 2 : En entier !**

Une personne mesurant 1,70 m est photographiée avec un appareil photo dont l'objectif est assimilable à une unique lentille de vergence 20δ . Pour qu'elle apparaisse toute entière sur la photo, son image sur le capteur doit mesurer au maximum 24 mm.

Q.1 Établir la distance minimale entre l'objectif et la personne.

Exercice 3 : Distance entre objet et image

Un objet (AB) et un écran (E) sont fixes et distants de D .

Entre l'objet et l'écran, on déplace une lentille mince convergente de distance focale image f' .

Q.1 Montrer qu'il existe une valeur minimale de D pour laquelle on ne peut pas former d'image sur (E).

Q.2 Calculer la ou les positions de la lentille convergente pour lesquelles on peut former une image nette sur l'écran. Exprimer la différence entre ces deux positions qu'on notera d .

Q.3 Exprimer f' en fonction de D et d .

Exercice 4 : Petit problème à résoudre

Une lentille mince donne d'un objet AB réel une image $A'B'$ réelle deux fois plus grande. La distance AA' est de 90 cm.

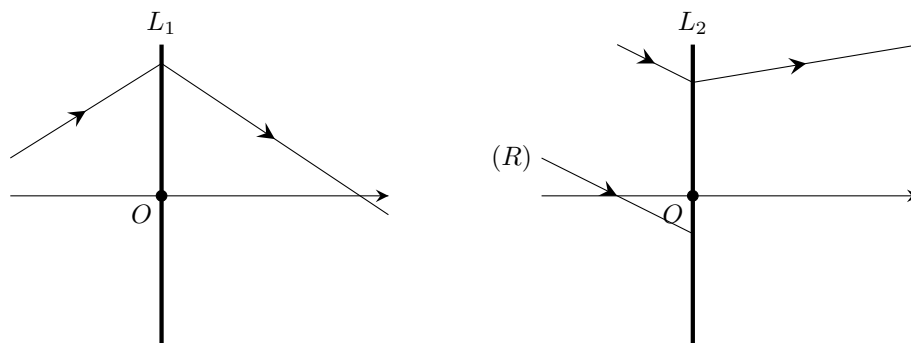
Q.1 Identifier la nature de la lentille.

Q.2 Faire une construction graphique pour placer AB , $A'B'$, la lentille, F et F' .

Q.3 Déterminer $\overline{OA}$, $\overline{OA'}$ et f' par le calcul.

Exercice 5 : Les malheurs de Sophie

Les lentilles L_1 et L_2 présentées sur la figure ci-dessous sont de nature inconnue. Ayant tout misé sur l'apprentissage des formules de conjugaison, Sophie se trouve bien embarrassée pour caractériser les lentilles mais estime intuitivement que L_1 est vraisemblablement convergente et L_2 divergente.



Q.1 Confirmez-vous a priori l'intuition de Sophie ?

Q.2 Déterminer graphiquement la position des foyers objet F_i et image F'_i de chaque lentille L_i .

Q.3 En déduire la nature des lentilles L_1 et L_2 .

Q.4 Compléter la figure de droite en représentant le rayon émergent provenant du rayon incident (R) .

TD 3 : Systèmes optiques

Questions d'application directe

- Q.1** Définir un instrument afocal. En déduire l'espacement entre les lentilles et tracer la marche des rayons issus d'un objet à l'infini dans une lunette astronomique. Définir le grossissement et établir son expression.
- Q.2** Rappeler la modélisation d'un appareil photo. Définir la mise au point puis illustrer graphiquement l'influence du diaphragme sur la profondeur de champ.
- Q.3** Rappeler la modélisation de l'œil, définir la plage d'accommodation et le pouvoir séparateur.
- Q.4** Dans le cas de deux lentilles accolées, établir la relation entre f' la focale de la lentille équivalente, f'_1 et f'_2 les focales des deux lentilles.

Exercices d'entraînement

Exercice 1 : Pouvoir séparateur de l'œil

- Q.1** Par quoi modélise-t-on l'œil ?
- Q.2** Déterminer la distance minimale séparant deux points objets pour que leurs images puissent être vues séparément lorsqu'ils se trouvent à 30 m et 60 m.

Exercice 2 : Lunette de Galilée

On considère une lunette astronomique formée de deux lentilles minces :

- une lentille $\mathcal{L}_1$ de centre O_1 et de vergence $\nu_1 = 5\delta$;
- une lentille $\mathcal{L}_2$ de centre O_2 et de vergence $\nu_2 = -20\delta$;

Les deux lentilles sont positionnées de telle sorte que le système optique soit afocal.

- Q.1** Déterminer la valeur de l'écartement e entre les deux lentilles.

La lunette de Galilée est utilisée pour observer un objet à l'infini de diamètre angulaire α .

- Q.2** Réaliser la construction graphique de la lunette de Galilée. On représentera α et α' les diamètres angulaires des rayons en entrée et en sortie de la lunette.
- Q.3** L'image finale est-elle droite ou renversée ?
- Q.4** Déterminer l'expression du grossissement $G = \alpha'/\alpha$ de la lunette en fonction de f'_1 et f'_2 . Calculer sa valeur.
- Q.5** Quel est l'avantage de cette lunette par rapport à une lunette astronomique avec deux lentilles convergentes ?

Exercice 3 : Étude d'un téléobjectif d'appareil photographique

Un téléobjectif est constitué de deux lentilles minces dont les axes optiques coïncident. La lentille d'entrée L_1 a une vergence $C_1 = 10\delta$ et est suivie d'une lentille L_2 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 O_1 sur l'axe optique.

- Q.1** Déterminer les caractéristiques de l'image intermédiaire A_1B_1 donnée par L_1 .
- Q.2** Quel rôle joue cette image pour la seconde lentille ? Déterminer les caractéristiques de l'image définitive $A'B'$.
- Q.3** Les résultats de la question précédente sont-ils conformes aux propriétés attendues pour l'image donnée par un téléobjectif sur la pellicule photographique ?
- Q.4** Déterminer la position de la lentille convergente unique qui permettrait d'arriver au même résultat. Préciser sa distance focale.
- Q.5** Conclure quant à l'intérêt du téléobjectif.

Exercice 4 : Lentilles de contact

La distance cristallin - rétine dans un œil vaut environ 1,50 cm.

- Q.1** L'œil normal peut voir nettement les objets entre l'infini et une distance minimale 25 cm du cristallin. Quelles sont donc les valeurs extrémales f'_{PP} et f'_{PR} de la focale du cristallin.
- Q.2** un œil myope ne voit pas nettement les objets au-delà de $L = 2$ m. Que dire de son cristallin ?

On veut corriger la vision de cet œil afin que ses caractéristiques soient celles d'un œil normal.

- Q.3** Montrer que deux lentilles minces L_1 et L_2 , de focales f_1 et f_2 accolées en O se comportent comme une unique lentille dont on précisera la focale f' .
- Q.4** La correction de la vision de l'œil considéré se fait au moyen de verres de contact, assimilables à des lentilles minces au contact de la lentille modélisant le cristallin. Préciser la nature de ces lentilles. Quelle est leur vergence V_c ?

Exercice 5 : Distance hyperfocale

On modélise l'objectif d'un appareil photo par une lentille convergente L , de centre O et de distance focale image f' .

- Q.1** Lorsque l'appareil est mis au point à l'infini (objet à l'infini), où doit-on placer la pellicule ?
- Q.2** On considère un point objet A à la distance d_A devant la lentille. La pellicule est dans la position de la question (1).
- Exprimer la position $\overline{OA'}$ de l'image A' de A .
 - On note D_L le diamètre utile de la lentille (diamètre du faisceau au niveau de la lentille) et D_A le diamètre de la tache du faisceau sur la pellicule. Exprimer D_A en fonction de D_L , f' et d_A .
 - La pellicule est formée de grains de diamètre ϵ . Quelle est la condition sur ϵ pour que l'image d'un point A situé à une distance d_A soit net ?
 - Calculer la distance d_A minimale (appelée distance hyperfocale) qui donnera une image nette sur la pellicule. Application numérique pour $f' = 3,0 \text{ cm}$; $D_L = 2 \text{ mm}$ et $\epsilon = 2 \mu\text{m}$.

Exercice 6 : Principe d'un viseur

Un viseur est un système optique constitué :

- d'un objectif modélisé par une lentille mince $\mathcal{L}_1$ de centre O_1 et de focale $f'_1 = 50,0 \text{ mm}$;
- d'un oculaire modélisé par une lentille mince $\mathcal{L}_2$ de centre O_2 et de focale $f'_2 = 12,5 \text{ mm}$;

Ce viseur est utilisé pour observer un objet de hauteur h situé à une distance $d = 8,0 \text{ cm}$ de l'objectif. Dans le plan (Π') conjugué du plan (Π) de l'objet par l'objectif, on place un réticule, composé de deux axes orthogonaux portant une échelle graduée.

- Q.1** Déterminer la distance $\overline{O_1O_2}$ afin qu'un œil emmétrope puisse regarder au travers du viseur sans accommoder.
- Q.2** On mesure une taille $h_1 = 5,0 \text{ mm}$ de l'image de l'objet avec le réticule. Déterminer la hauteur h de l'objet.
- Q.3** On note α' l'angle sous lequel est vue l'image finale en sortie de l'oculaire. Déterminer l'expression de la puissance optique du viseur $P = \frac{\alpha'}{h}$ et calculer sa valeur.
- Q.4** Comparer l'angle α' et l'angle θ sous lequel serait vu l'objet à une distance $d_{PP} = 25 \text{ cm}$. Commenter.
- Q.5** Quel réglage de l'oculaire faut-il prévoir pour qu'un œil myope ou hypermétrope puisse voir net l'objet au travers du viseur sans accommoder et sans modifier la distance d ?

Pour approfondir

Exercice 7 : Distance hyperfocale

On modélise l'objectif d'un appareil photo par une lentille convergente L , de centre O et de distance focale image f' .

- Q.1** Lorsque l'appareil est mis au point à l'infini (objet à l'infini), où doit-on placer la pellicule ?
- Q.2** On considère un point objet A à la distance d_A devant la lentille. La pellicule est dans la position de la question (1).
- Exprimer la position $\overline{OA'}$ de l'image A' de A .
 - On note D_L le diamètre utile de la lentille (diamètre du faisceau au niveau de la lentille) et D_A le diamètre de la tache du faisceau sur la pellicule. Exprimer D_A en fonction de D_L , f' et d_A .
 - La pellicule est formée de grains de diamètre ϵ . Quelle est la condition sur ϵ pour que l'image d'un point A situé à une distance d_A soit net ?
 - Calculer la distance d_A minimale (appelée distance hyperfocale) qui donnera une image nette sur la pellicule. Application numérique pour $f' = 3,0 \text{ cm}$; $D_L = 2 \text{ mm}$ et $\epsilon = 2 \mu\text{m}$.

Exercice 8 : Doublet de Huygens

On appelle doublet un ensemble de deux lentilles minces de même axe optique. En appelant L_1 et L_2 les deux lentilles (la première lentille rencontrée par la lumière est L_1), on note O_1 et O_2 leurs centres optiques, F_1 et F_2 leurs foyers objets, F'_1 et F'_2 leurs foyers images. Un doublet est caractérisé par les distances focales image des deux lentilles f'_1 et f'_2 et son épaisseur $e = \overline{O_1O_2}$.

Le doublet de Huygens est tel que : $f'_1 = 3a$, $e = 2a$, $f'_2 = a$, où a est une longueur quelconque.

- Q.1** Déterminer graphiquement la position du foyer image F' du doublet de Huygens (on pourra prendre l'échelle $a = 2 \text{ cm}$).
- Q.2** Retrouver ce résultat par un calcul en déterminant l'expression de $\overline{F'_2F'}$.
- Q.3** Déterminer graphiquement la position du foyer objet F du doublet de Huygens.
- Q.4** Retrouver ce résultat par un calcul en déterminant l'expression de $\overline{F_1F}$.