TP – Instruments d'optique

NOM :

L'œil ne peut percevoir que des objets dont la taille angulaire est supérieure à $1'$. Pour voir des objets plus petits, on utilise des instruments d'optique, qui donnent de l'objet une image dont le diamètre apparent est plus grand que celui de l'objet.

Dans ce TP, nous allons construire un œil, une loupe et un microscope.

On illustrera chaque manipulation par les trajets des rayons lumineux sur un schéma optique.

I) Mesures préalables

Avant de commencer, il est nécessaire de déterminer rapidement, mais précisément, la distance focale des 4 lentilles qui seront utilisées dans ce TP.

- Loupe & objectif de microscope – lentille de focale $f'_{\text{obj}} = 12{,}5$ cm
- Oculaire de microscope – lentille de focale $f'_{\text{oc}} = 20{,}0$ cm
- Cristallin (œil au repos) – lentille de focale $f'_{\text{PR}} = 20{,}0$ cm
- Cristallin (œil qui accommode) – lentille de focale $f'_{\text{O}} = 50{,}0$ cm

Prendre l'objet en forme de lettre et mesurer la distance focale des 4 lentilles par autocollimation.

	f'_{obj}	f'_{oc}	f'_{PR}	f'_{O}
Théorique	12,5 cm	20,0 cm	20,0 cm	50,0 cm
Mesurée				

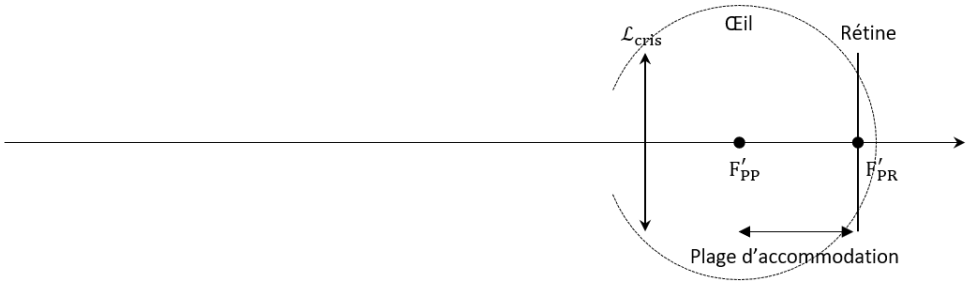
II) Étude de l'œil

1) Modèle réduit de l'œil

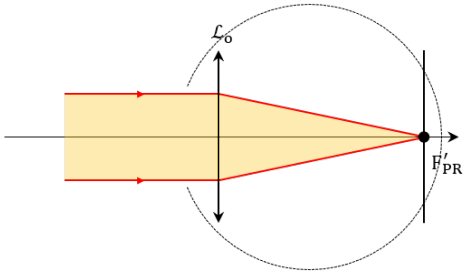
Dans sa modélisation la plus simple, l'œil est composé d'une lentille convergente de distance focale variable (le cristallin) et d'un écran (la rétine), situé à une distance fixe du cristallin. Un diaphragme (l'iris) permet de contrôler la quantité de lumière entrant dans l'œil sans affecter le champ de vision.

Au repos, la distance focale f'_{PR} du cristallin est égale à la distance cristallin/rétine, permettant à l'œil d'observer des objets situés à l'infini (PR). Lorsqu'il accommode au maximum, le cristallin possède une distance focale $f'_{\text{PP}} < f'_{\text{PR}}$, permettant à l'œil d'observer des objets situés à une distance $d_{\text{PP}} \sim 25$ cm (PP).

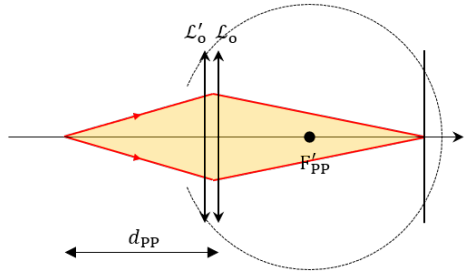
Sur le schéma ci-dessus, indiquer par une construction graphique où se trouve la distance d_{PP}.



Dans ce TP, nous allons créer deux yeux : un « œil au repos » et un « œil qui accommode au maximum ». Nous omettrons toutes les configurations intermédiaires.



Configuration « œil au repos »



Configuration « œil qui accommode au maximum »

2) Œil au repos

Réaliser un objet à l'infini par autocollimation, avec la lentille de votre choix.

Réaliser un « œil au repos » à l'aide d'une lentille $\mathcal{L}_o$ de distance focale f'_{PR} et d'un écran. À l'aide d'une tige et de noix, rendre solidaires la lentille et l'écran afin de fixer la distance cristallin/rétine.

3) Œil qui accommode au maximum

Réaliser un « œil qui accommode au maximum » en accolant, dans le même support, deux lentilles $\mathcal{L}_o$ et $\mathcal{L}'_o$ de distances focales respectives f'_{PR} et f'_O.

Il est possible de montrer qu'en considérant que les centres optiques des deux lentilles sont parfaitement confondus, $d_{PP} = f'_O$.

Mesurer la distance d_{PP} de l'œil ainsi construit. Conclure.

4) Taille angulaire

La « taille » perçue d'un objet correspond à la taille de l'image $A'B'$ sur la rétine, qui ne dépend que de l'angle sous lequel est vu l'objet. On appelle **taille angulaire** de l'objet l'angle α sous lequel est vu cet objet.

Prendre le quadrillage comme objet. Mesurer l'angle α_{PP} sous lequel est vu **un carreau du quadrillage** lorsque ce dernier est situé à une distance d_{PP} d'un œil accommodant au maximum.

5) Diaphragmes

Le cristallin étant de diamètre fini, il limite le nombre de rayons lumineux entrant dans l'œil. Il est possible de modifier artificiellement l'ouverture du cristallin en lui accolant un diaphragme. C'est le rôle de l'iris.

On appelle **diaphragme d'ouverture** un diaphragme qui limite la quantité de lumière passant dans le dispositif.

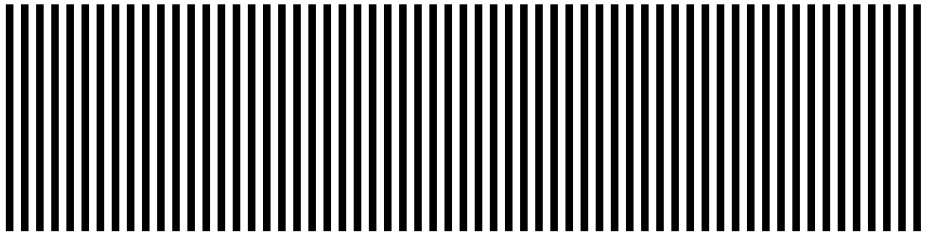
On appelle **diaphragme de champ** un diaphragme qui limite le champ de vision du dispositif.

Accoler un diaphragme à l'œil et fermer progressivement le diaphragme. De quel type de diaphragme s'agit-il ?

6) Limite de résolution

L'expérience de cette partie est à faire avec votre œil, et non pas avec celui du TP.

Fixer la mire ci-dessous à hauteur de vos yeux puis reculer jusqu'à ce que vous ne puissiez plus voir les traits séparés. Mesurer la distance séparant la mire de vos yeux et en déduire l'angle limite de résolution α_{min}.



III) Étude de la loupe

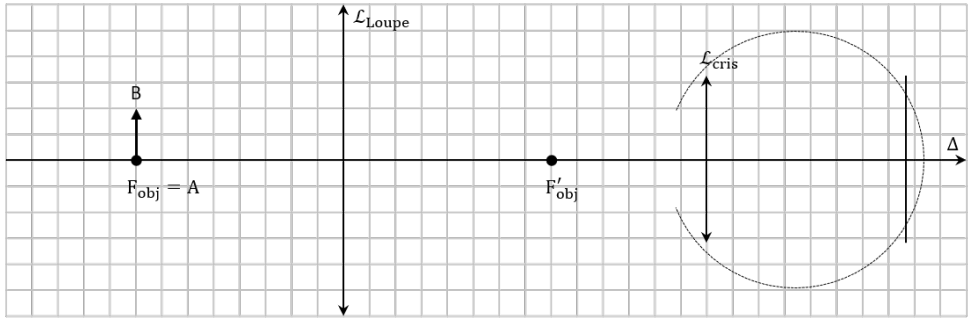
La loupe est l'instrument d'optique le plus simple permettant d'augmenter la taille angulaire d'un objet. Il s'agit d'une simple lentille convergente. Il faut placer l'objet à observer entre le point focal objet et le centre optique. On obtient une image virtuelle agrandie, observable par l'œil.

Afin d'obtenir une image intermédiaire à l'infini, l'objet doit être placé dans le plan focal objet de la loupe.

$$\text{AB} \xrightarrow{\text{Loupe}} \text{A}_1\text{B}_1\,(\infty) \xrightarrow{\text{Œil}} \text{A}'\text{B}'\ \text{(rétine)}$$

Pourquoi souhaitons-nous créer une image intermédiaire à l'infini ?

Compléter le schéma ci-dessous : tracer des rayons lumineux permettant de trouver les positions de A_1B_1 et $\text{A}'\text{B}'$. Identifier la taille angulaire α' de l'objet vu par l'œil.



Le **grossissement** d'un instrument d'optique est le rapport de la taille angulaire de l'objet vu à travers l'instrument (notée α') et de la taille angulaire de l'objet vu à l'œil nu et placé au PP (notée α_{PP}).

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha_{\text{PP}}}$$

Il est possible de montrer que le grossissement théorique de ce montage vaut :

$$G = \frac{f'_{\text{O}}}{f'_{\text{obj}}}$$

Choisir comme loupe une lentille de distance focale $f'_{\text{obj}} = 12{,}5$ cm. Ajuster la position de l'objet pour former l'image du quadrillage à l'infini. L'œil au repos doit alors observer nettement le quadrillage. Mesurer l'angle α' sous lequel est vu un carreau du quadrillage à travers la loupe. En déduire le grossissement expérimental de la loupe, puis le comparer au grossissement théorique.

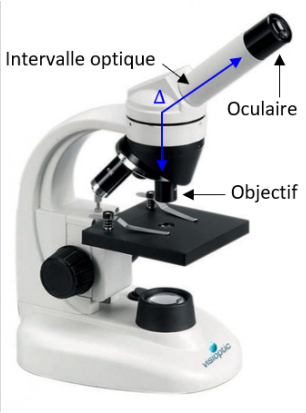
Pour augmenter le grossissement d'une loupe, on peut penser qu'il suffit de diminuer sa distance focale. Quelle problématique rencontre-t-on ?

IV) Étude du microscope

1) Grossissement

Un microscope est composé de deux lentilles :

- l'**objectif** (obj.), de courte focale et situé proche de l'objet à observer ;
- l'**oculaire** (oc.), derrière lequel l'utilisateur va placer son œil.

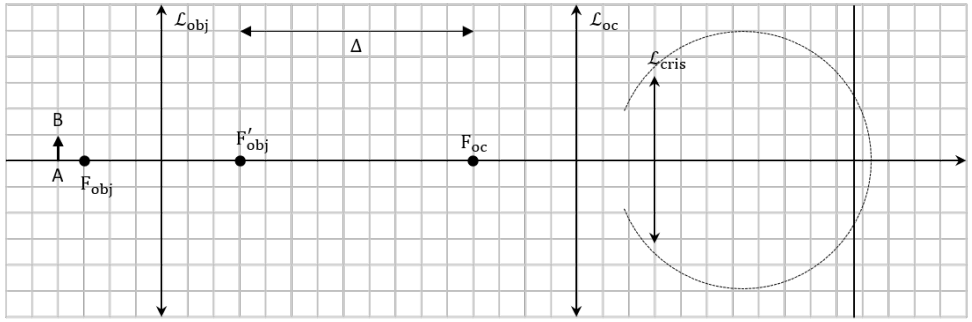


$$\mathrm{AB} \xrightarrow{\text{Obj.}} \mathrm{A_1B_1} \xrightarrow{\text{Oc.}} \mathrm{A_2B_2}\,(\infty) \xrightarrow{\text{Œil}} \mathrm{A'B'}$$

On appelle **intervalle optique** la distance :

$$\Delta = \mathrm{F'_{obj}F_{oc}}$$

Compléter le schéma ci-dessous : tracer des rayons lumineux permettant de trouver les positions de $\mathrm{A_1B_1}$, $\mathrm{A_2B_2}$ et $\mathrm{A'B'}$. Identifier la taille angulaire α' de l'objet vu par l'œil.



Il est possible de montrer que le grossissement théorique de ce montage vaut :

$$G = \frac{f'_{\mathrm{O}}\Delta}{f'_{\mathrm{obj}}f'_{\mathrm{oc}}}$$

Construire un microscope en choisissant $f'_{\mathrm{obj}} = 12{,}5$ cm, $f'_{\mathrm{oc}} = 20{,}0$ cm et $\Delta \simeq 100$ cm (ajuster la valeur de Δ à vos contraintes expérimentales). Ajuster la position de l'objet pour former l'image du quadrillage à l'infini. L'œil au repos doit alors observer nettement le quadrillage.

Observer qualitativement (avec une feuille de papier) que l'on observe bien une image intermédiaire dans le plan focal objet de l'oculaire.

Mesurer l'angle α' sous lequel est vu un carreau du quadrillage à travers le microscope. En déduire le grossissement expérimental du microscope, puis le comparer au grossissement théorique.

Pour augmenter le grossissement du microscope, on peut penser qu'il suffit d'augmenter Δ. Quelle problématique rencontre-t-on ?

2) Diaphragmes

L'objectif et l'oculaire étant tous deux de diamètre fini, ils limitent le nombre de rayons lumineux traversant le système optique. Il est possible de modifier artificiellement l'ouverture des lentilles en accolant simplement un diaphragme à la lentille.

Accoler un diaphragme à l'objectif et fermer progressivement le diaphragme. De quel type de diaphragme s'agit-il ?

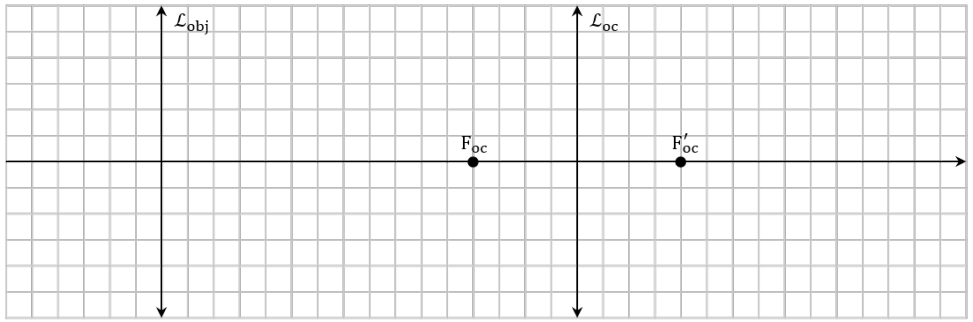
Accoler un diaphragme à l'oculaire et fermer progressivement le diaphragme. De quel type de diaphragme s'agit-il ?

3) Cercle oculaire

Le **cercle oculaire** est l'image de l'objectif à travers l'oculaire. Il s'agit du lieu situé après le système optique où la concentration en lumière est la plus importante. En effet, l'objectif peut être vu comme un objet lumineux (en forme de disque) qui envoie dans le système des rayons dans toutes les directions. Ces rayons se concentrent au niveau de son image à travers l'oculaire. L'image est donc un disque de lumière (et non pas un cercle comme le suggère le nom...).

$$\text{Objectif} \xrightarrow{\text{Oculaire}} \text{Cercle oculaire}$$

Compléter le schéma ci-dessous : tracer des rayons lumineux permettant de trouver le cercle oculaire.



Le cercle oculaire étant le lieu où la concentration en lumière est la plus importante, c'est là qu'il faut placer son œil pour observer une image la plus lumineuse possible.

Déterminer expérimentalement la position du cercle oculaire.

Il est possible de montrer que la position (notée C) et le diamètre (noté $\mathcal{D}_{co}$) du cercle oculaire valent :

$$\overline{O_{oc}C} = \left(\frac{1}{f'_{oc}} - \frac{1}{f'_{obj} + \Delta + f'_{oc}} \right)^{-1} \quad \text{et} \quad \mathcal{D}_{co} = \mathcal{D}_{obj} \times \frac{O_{oc}C}{f'_{obj} + \Delta + f'_{oc}}$$

où $\mathcal{D}_{obj}$ est le diamètre de l'objectif.

Mesurer la position et le diamètre du cercle oculaire, puis les comparer aux valeurs théoriques.

4) Profondeur de champ

On appelle **profondeur de champ** (PDC) la distance entre le premier et le dernier plan net. Il est possible de montrer que la PDC théorique de ce montage vaut :

$$P_c = \frac{\left(f'_{obj} f'_{oc}\right)^2}{\Delta \left(f'_O \Delta + \left(f'_{obj}\right)^2 \right)}$$

Modifier l'emplacement de l'objet et estimer la valeur de la PDC expérimentale, puis la comparer à la PDC théorique.