



L'œil ne peut percevoir, à 25 cm, que des détails dont les dimensions sont supérieures à 75  $\mu\text{m}$ . Pour voir des détails 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. Le plus simple de ces instruments est la loupe, qui permet d'obtenir des grossissements compris entre 2,5 et 12,5. Pour obtenir des grossissements plus importants, il est nécessaire d'utiliser un instrument plus complexe, comme le microscope.

## I - Mesures préalables

Voici la liste de matériel nécessaire pour réaliser l'ensemble du TP. Commencer par tout rassembler sur la pailleasse.

- (1) lampe
- (1) porte diapositive
- Diapositives : (1) grille et (1) lettre F
- (1) miroir
- Lentilles de distance focale : (1) 12,5 cm, (2) 20 cm et (1) 50 cm
- (1) écran

Avant de commencer, il est nécessaire de déterminer rapidement (mais précisément) la distance focale des 4 lentilles à votre disposition. D'une part, cela vous permettra de vérifier que vous ne vous êtes pas trompés en choisissant la lentille dans la boîte, et d'autre part, cela permet d'être plus précis dans les calculs à venir.

 Prendre la lettre F pour objet et **mesurer** la distance focale des 4 lentilles par autocollimation.

Lentille de focale 12,5 cm  $f'_{\text{Loupe}} = f'_{\text{obj}} =$

Lentille de focale 20 cm (n° 1/2)  $f'_{\text{PR}} =$

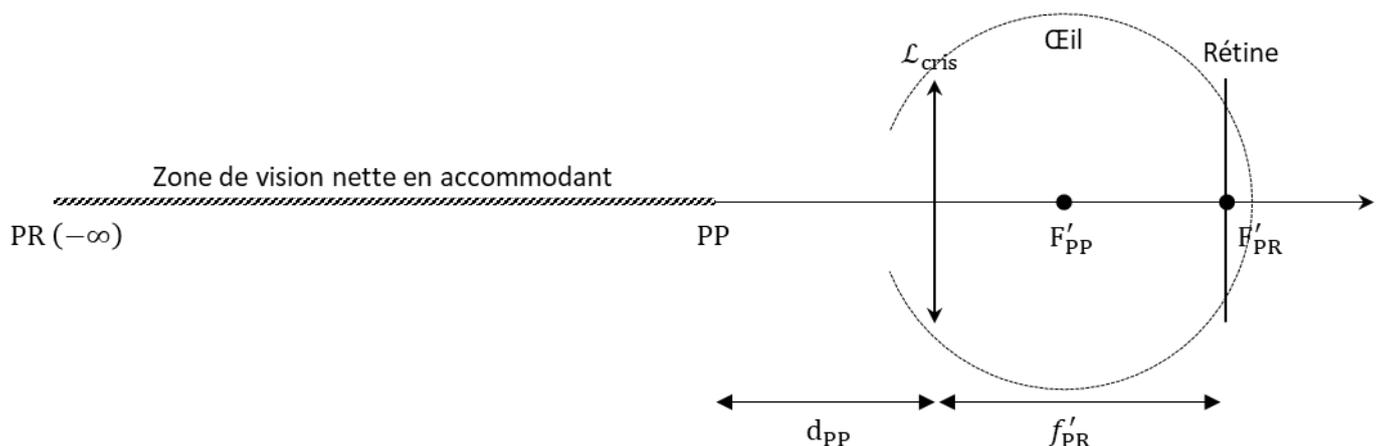
Lentille de focale 20 cm (n° 2/2)  $f'_{\text{oc}} =$

Lentille de focale 50 cm  $f'_0 =$

## II - Étude de l'œil

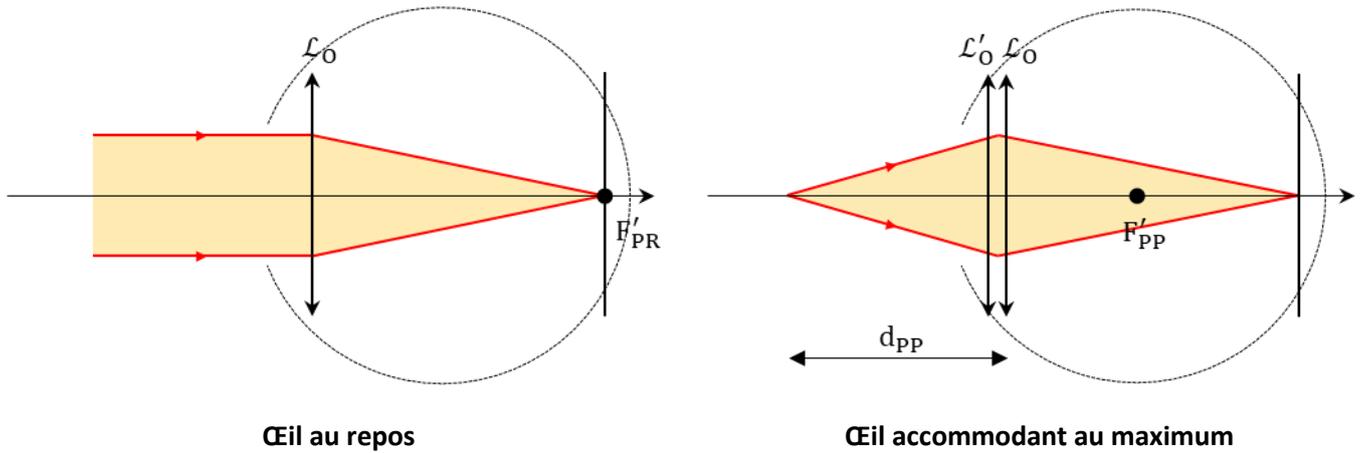
### II.1 - Modélisation de l'œil

L'œil est composé d'une lentille convergente de distance focale variable (le cristallin) et d'un écran (la rétine), située à une distance fixe du cristallin. Au repos, la distance focale  $f'_{\text{PR}}$  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, tracer l'image d'un objet situé au niveau du PP et vérifier que l'image se forme bien sur la rétine.

Dans ce TP, nous allons créer deux yeux : un « œil au repos », et un « œil qui accommode au maximum ».



- ☞ Réaliser un objet à l'infini par la méthode d'autocollimation.
- ☞ Réaliser un « œil au repos » à l'aide d'une lentille  $\mathcal{L}_O$  de distance focale  $f'_{PR} = 20$  cm et d'un écran. À l'aide d'une tige et des noix, rendre solidaire la lentille et l'écran, afin de fixer la distance cristallin/rétine.
- ☞ Réaliser un « œil qui accommode au maximum » en accolant dans le même support à lentille, deux lentilles  $\mathcal{L}_O$  et  $\mathcal{L}'_O$  de distance focale respective  $f'_{PR} = 20$  cm et  $f'_O = 50$  cm.

On admet que ce doublet de lentille est équivalent à une lentille unique de distance focale  $f'_{PP}$  telle que :

$$\boxed{\frac{1}{f'_{PP}} = \frac{1}{f'_{PR}} + \frac{1}{f'_O}} \Rightarrow f'_{PP} = \frac{f'_{PR} \times f'_O}{f'_{PR} + f'_O} = 14,3 \text{ cm} < f'_{PR}$$

À l'aide des formules de conjugaison, montrer que la valeur théorique  $d_{PP}$  de l'œil construit vaut :

$$\boxed{d_{PP} = f'_O}$$

- ☞ En cherchant la distance entre l'iris et le plan objet conjugué à la rétine, mesurer la distance  $d_{PP}$  de l'œil construit et comparer qualitativement avec la valeur théorique.

$$\boxed{d_{PP} =}$$

Dans la suite du TP, enlever ou remettre la lentille  $\mathcal{L}'_O$  de distance focale 50 cm pour passer de l'une à l'autre des configurations de l'œil.

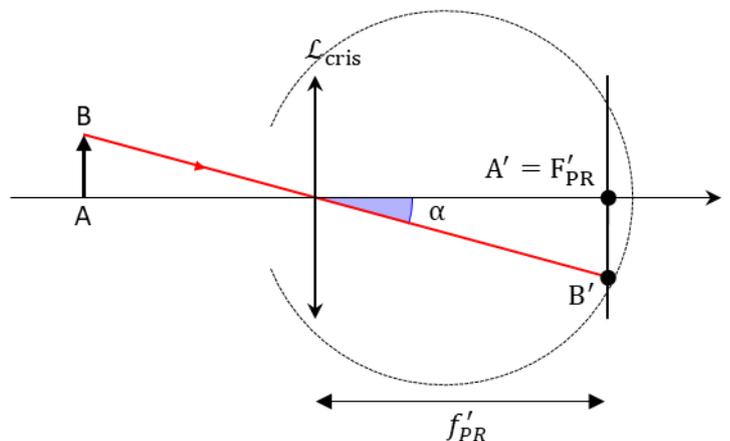
## II.2 - Taille apparente (ou taille angulaire)

La « taille » des objets que l'on observe, correspondant à la taille de l'image  $A'B'$  sur la rétine, ne dépend que d'un seul paramètre : l'angle sous lequel est vu l'objet.

On appelle **taille apparente** ou **taille angulaire** de l'objet, l'angle  $\alpha$  sous lequel est vu cet objet.

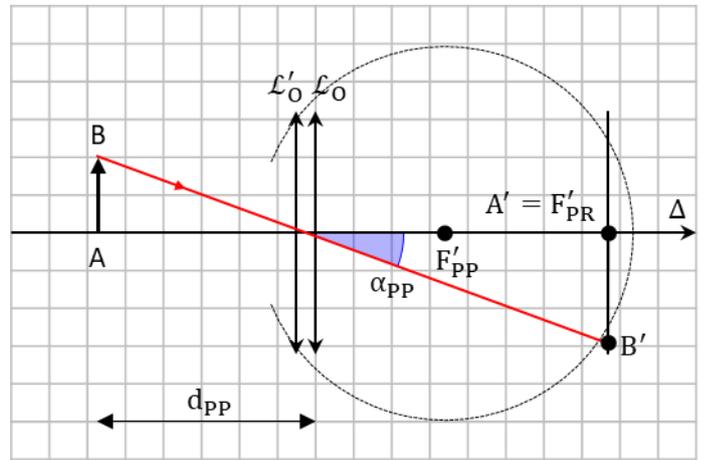
$$\tan(\alpha) \approx \alpha = \frac{A'B'}{f'_{PR}}$$

En conséquence, lors d'une observation à l'œil nu, plus l'objet est proche de l'œil, plus sa taille angulaire est grande.



L'angle  $\alpha_{PP}$  sous lequel est vu l'objet lorsque l'œil accommodé au maximum vaut :

$$\alpha_{PP} = \frac{A'B'}{f'_{PR}} = \frac{AB}{d_{PP}}$$



Enlever la lettre F et prendre le quadrillage comme objet. Mesurer l'angle  $\alpha_{PP}$  sous lequel est vu un carreau du quadrillage situé à une distance  $d_{PP}$  d'un œil accommodé au maximum. Pour plus de précision dans la mesure d'un carreau, il faut mesurer plusieurs carreaux et diviser par le nombre de carreaux mesuré.

$$\alpha_{PP} =$$

Rappeler la valeur de la plus petite taille angulaire  $\alpha_{min}$  observable par l'œil humain. Sachant que pour un œil réel :  $f'_{PR} \sim 2,5$  cm, en déduire la taille typique  $\epsilon$  des détecteurs situés sur la rétine.

### III - Étude de la loupe

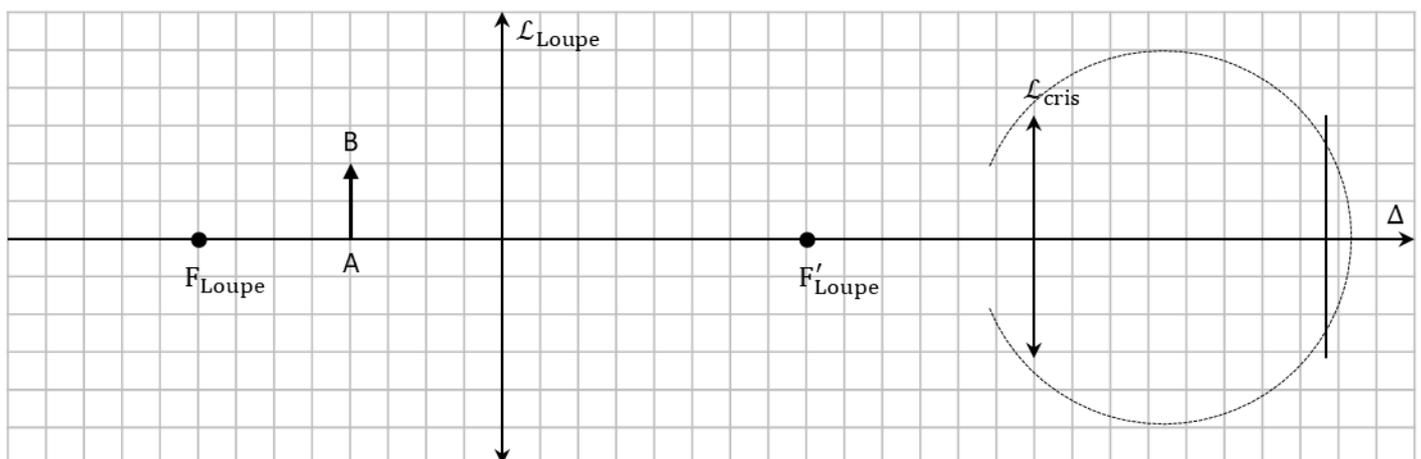
L'appareil optique le plus simple permettant d'augmenter la taille angulaire d'un objet est la loupe.

La loupe est une lentille convergente. L'objet doit nécessairement être placé entre le point focal objet et le centre optique, de manière à créer une image virtuelle agrandie observable par l'œil.



$$AB \xrightarrow{\text{Loupe}} A_1B_1 \xrightarrow{\text{Cristallin}} A'B' \text{ (Rétine)}$$

Soit un objet réel AB situé à une distance  $f'_{Loupe}/2$  d'une loupe de distance focale  $f'_{Loupe}$ . Déterminer, par le calcul, la position et le grandissement de l'image  $A_1B_1$  à travers la loupe. Compléter le schéma ci-dessous afin de retrouver les résultats obtenus par le calcul.

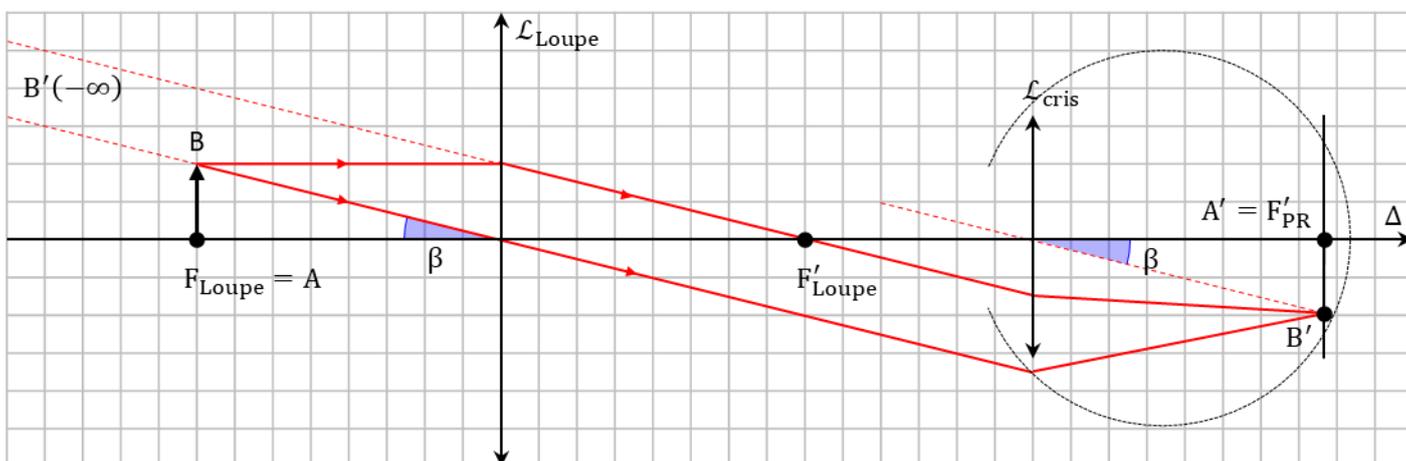


Sur le schéma ci-dessous, où la loupe est toujours présente mais non représentée pour plus de clarté, recopier l'image  $A_1B_1$  et indiquer comment lire les tailles angulaires  $\beta_0$  de AB et  $\beta_1$  de  $A_1B_1$  vues par l'œil. En déduire que la loupe permet bien d'agrandir la taille angulaire de l'objet.



Dans ce TP, nous allons utiliser la loupe de manière à ce qu'elle donne une image à l'infini de l'objet, de telle sorte que l'œil puisse l'observer sans avoir à accommoder. L'image donnée par la loupe étant à l'infini, la distance œil/loupe n'a aucune importance quant à la mise au point. Cependant, dans la pratique, pour avoir le champ de vision transversal maximal, on a intérêt à placer l'œil près de la loupe.

Dans cette configuration, on obtient la situation ci-dessous.



🏠 Montrer que l'angle  $\beta$  sous lequel est vu l'objet à travers la loupe vaut :

$$\beta = \frac{A'B'}{f'_{PR}} = \frac{AB}{f'_{Loupe}}$$

On définit le grossissement d'un instrument d'optique comme le rapport de la taille apparente de l'objet vu à travers l'instrument et de la taille apparente de l'objet vu à l'œil nu, lorsque ce dernier accommode au maximum :

$$G = \frac{\beta}{\alpha_{PP}}$$

🏠 Montrer que le grossissement théorique de la loupe vaut :

$$G = \frac{d_{PP}}{f'_{Loupe}}$$

🔍 Choisir comme loupe une lentille de distance focale  $f'_{Loupe} = 12,5$  cm. Ajuster la loupe pour former l'image du quadrillage à l'infini. L'œil au repos doit alors observer nettement le quadrillage.

🔍 Mesurer l'angle  $\beta$  sous lequel est vu un carreau du quadrillage à travers la loupe.

$$\beta = \boxed{\phantom{000}}$$

🔍 En déduire le grossissement expérimental de la loupe. Comparer qualitativement à la valeur théorique.

$$G_{\text{Loupe}} =$$

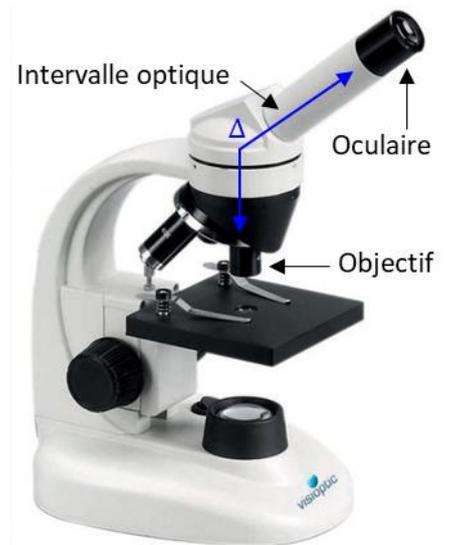
Pour augmenter le grossissement d'une loupe, on peut penser qu'il suffit de diminuer sa distance focale. Mais à mesure que  $f'_{\text{Loupe}}$  diminue, les faces de la lentille deviennent de plus en plus bombées, et donc les faisceaux lumineux reçu par la loupe sont de plus en plus inclinés. On s'éloigne ainsi des conditions de Gauss, nécessaires à l'obtention d'images de qualité.

## IV - Étude du microscope

### IV.1 - Grossissement

Pour obtenir des grossissements plus importants, il est nécessaire d'utiliser un système optique comportant au minimum deux lentilles. C'est le cas du microscope, que nous allons étudier dans cette partie.

Un microscope est composé de deux lentilles : l'**objectif**, de courte distance focale et situé proche de l'objet à observer, et l'**oculaire**, où l'utilisateur va placer son œil. Le microscope renvoie une image à l'infini de l'objet, de sorte l'œil n'ait pas à accommoder.

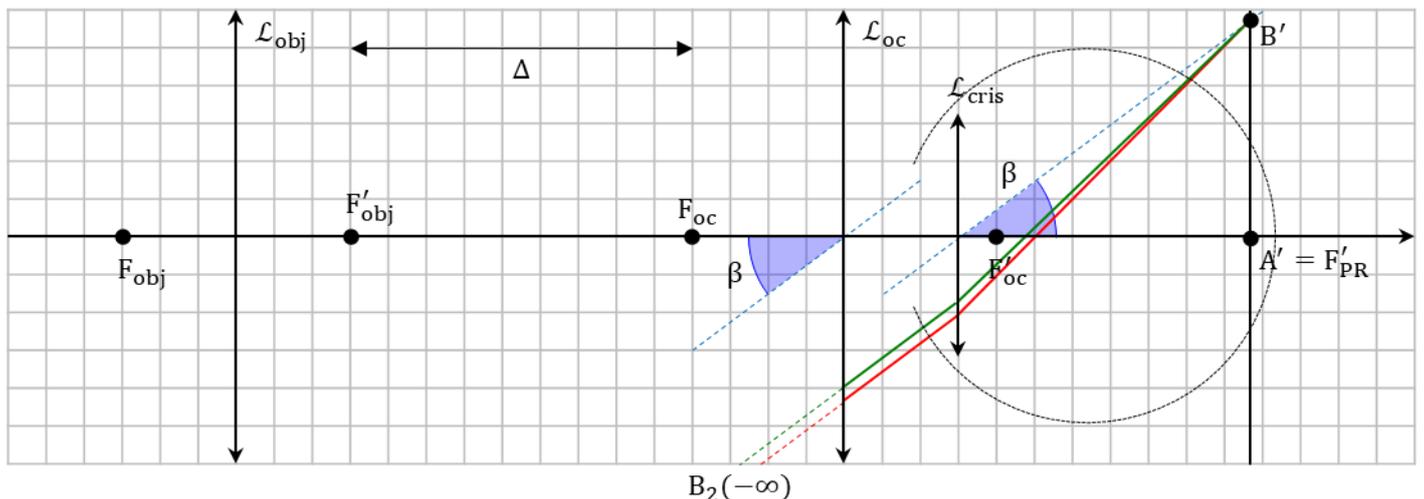


$$AB \xrightarrow{\text{Objectif}} A_1B_1 \xrightarrow{\text{Oculaire}} A_2B_2 (-\infty) \xrightarrow{\text{Cristallin}} A'B' (\text{Rétine})$$

On appelle **intervalle optique** la distance  $\Delta$  entre le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire.

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

🏠 On souhaite que les rayons lumineux émergents du microscope soient parallèles entre eux et inclinés d'un angle  $\beta$  par rapport à l'axe optique. Compléter le schéma ci-dessous : montrer que  $A_1B_1$  se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire et déterminer la position de l'objet AB.



🏠 Montrer que l'angle  $\beta$  sous lequel l'œil voit l'image vaut :

$$\beta = \frac{AB \Delta}{f'_{\text{obj}} f'_{\text{oc}}}$$

🏠 Montrer que le grossissement théorique du microscope vaut :

$$G = \frac{d_{\text{pp}} \Delta}{f'_{\text{obj}} f'_{\text{oc}}}$$

📐 Construire un microscope en choisissant  $f'_{\text{obj}} = 12,5 \text{ cm}$ ,  $f'_{\text{oc}} = 20 \text{ cm}$  et  $\Delta = 100 \text{ cm}$ .

- ☞ Placer en sortie de microscope l'œil au repos. Placer le quadrillage en amont du microscope de manière à observer une image nette sur l'écran.
- ☞ Observer rapidement (avec une feuille de papier) que l'on observe bien une image intermédiaire dans le plan focal objet de l'oculaire.
- ☞ Mesurer l'angle  $\beta$  sous lequel est vu un carreau du quadrillage à travers le microscope. Comparer à la loupe.

$$\beta =$$

- ☞ En déduire le grossissement expérimental du microscope. Comparer à la valeur théorique et à la loupe.

$$G_{\text{Mic}} =$$

## IV.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. Qu'observe-t-on sur l'image ?
- ☞ Accoler un diaphragme à l'oculaire et fermer progressivement le diaphragme. Qu'observe-t-on sur l'image ?
- ☞ Conclure : attribuer à chaque diaphragme le nom **diaphragme d'ouverture** (diaphragme qui limite la quantité de lumière) ou **diaphragme de champ** (diaphragme qui limite le champ de vision).
- ☞ Le diaphragme de l'appareil photo vu en cours est-il un diaphragme de champ ou un diaphragme d'ouverture ?

## IV.3 - Profondeur de champ

La **profondeur de champ** est la plage de position de l'objet pour laquelle l'image à travers le système optique est nette pour l'œil, quitte à accommoder.

La profondeur de champ d'un microscope est donnée par :

$$P_c = \frac{(f'_{\text{obj}} f'_{\text{oc}})^2}{\Delta (d_{\text{pp}} \Delta + (f'_{\text{oc}})^2)}$$

- ☞ Déterminer la profondeur de champ théorique de votre microscope.
- ☞ Noter les emplacements de l'objet lorsqu'il vu net par l'œil au repos et par l'œil qui accommode au maximum. En déduire la profondeur de champ  $P_c$  expérimentale, égale à l'écart entre ces deux positions. Cette valeur est-elle *qualitativement* compatible avec la valeur théorique ?