

OPTIQUE GEOMETRIQUE

IV. Instruments d'optique

1. L'œil
2. La loupe
3. Le microscope
4. L'objectif photo
5. La lunette astronomique

INTRODUCTION

Définition : un instrument d'optique est un dispositif qui permet de former des images

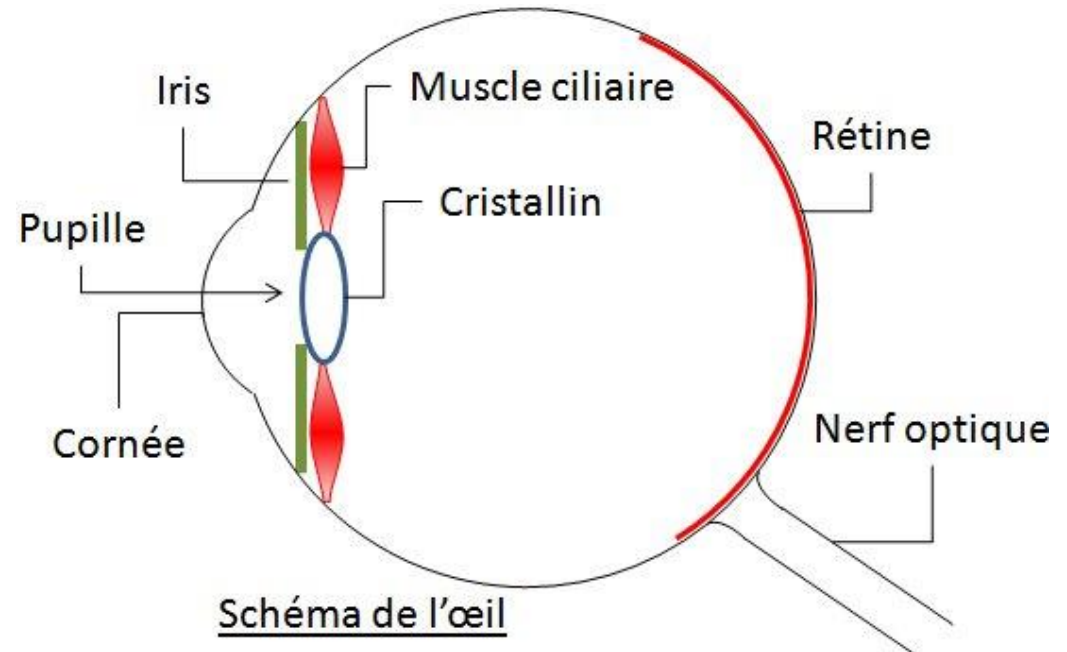
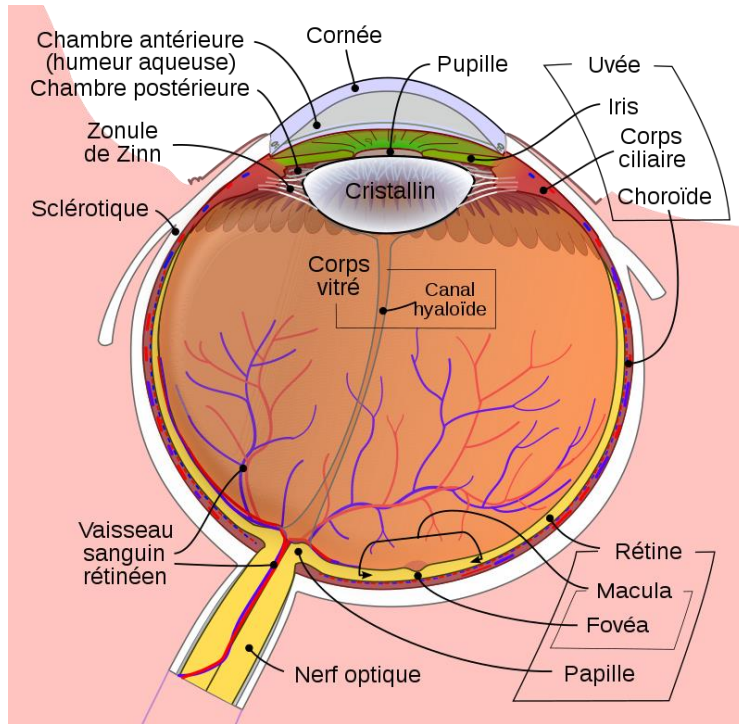
« Image » au sens de l'optique : convergence des rayons en un point (un PC affiche des images mais n'est pas un instrument d'optique!)

Ce cours est non exhaustif, l'objectif est de passer en revue quelques instruments d'optique et leurs caractéristiques.

Pourquoi un microscope est différent d'une lunette, pourquoi ça n'a pas de sens de pointer un microscope vers le ciel pour voir une étoile ni de tenter de voir une fourmi avec un télescope

1. L'œil

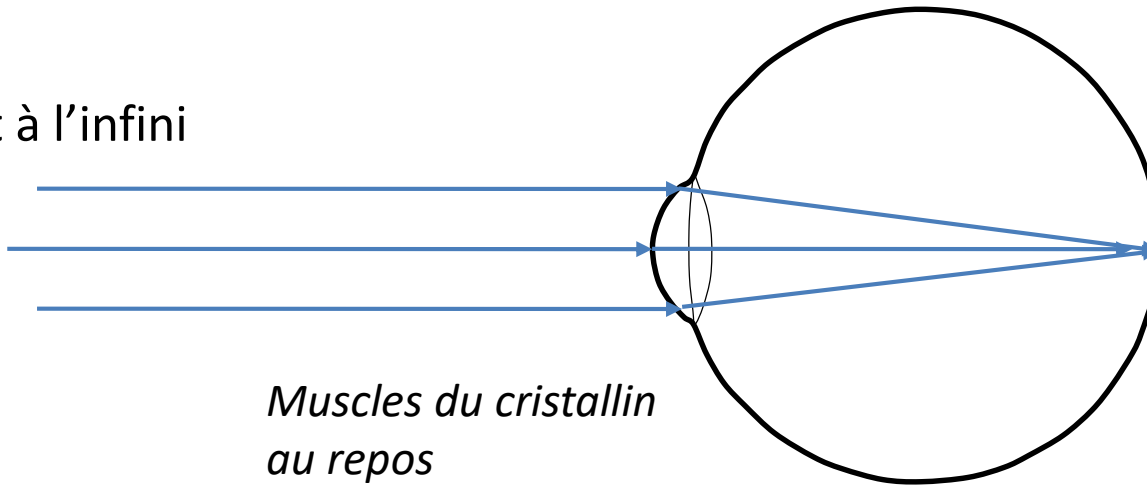
1. L'œil



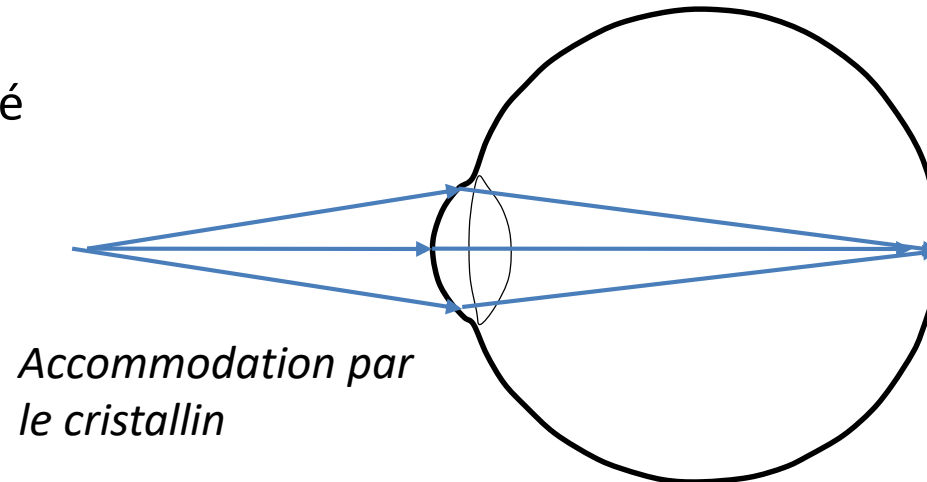
L'œil est essentiellement **un dioptre sphérique** permettant de faire converger les rayons lumineux sur la **rétine** (= **écran** de détection). Il comprend aussi une **lentille convergente** spéciale, **le cristallin**, qui peut se déformer et ainsi changer d'indice pour accommoder les rayons. **L'iris** règle **l'ouverture** de l'œil pour régler la luminosité et la netteté de l'image.

1. L'œil

Objet à l'infini



Objet à proximité

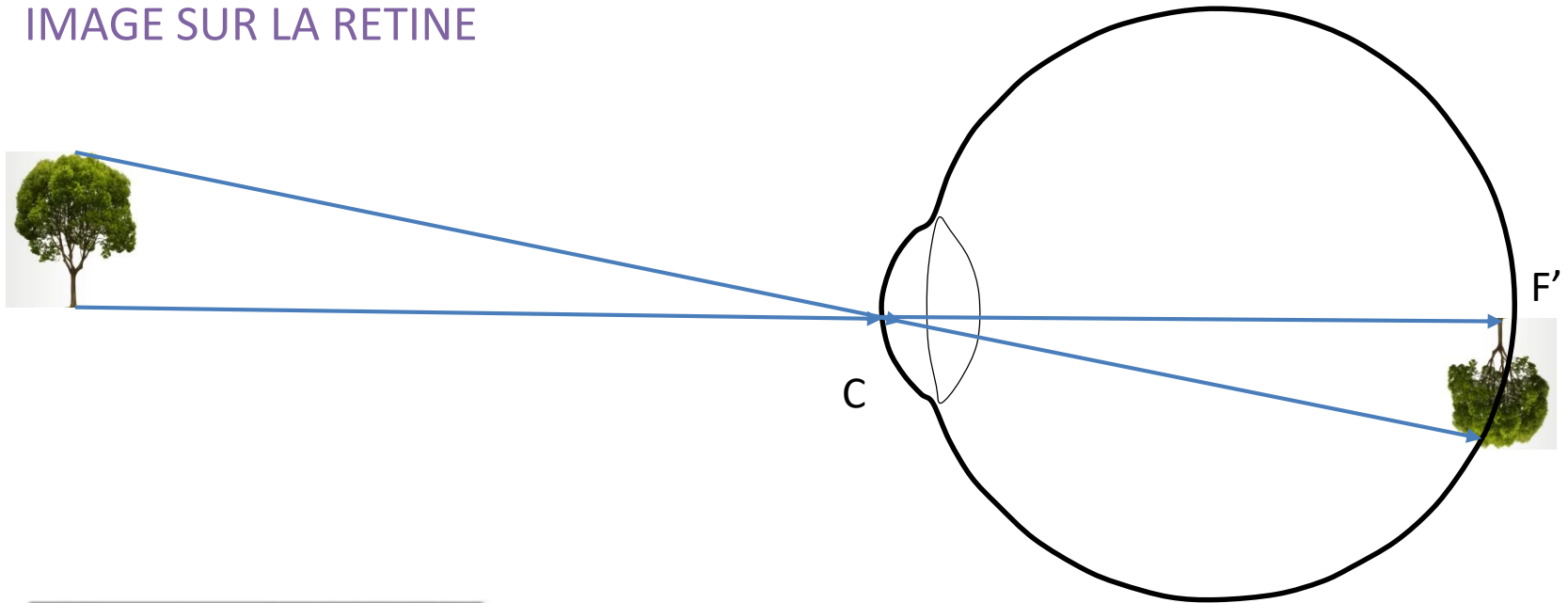


DEFINITIONS

Punctum Proximum (PP) : le point le plus proche que l'on peut voir net correspondant au maximum de contraction du cristallin (Environ 25 cm)

Punctum Remotum (PR) : le point le plus éloigné que l'on peut voir net. Pour un œil emmétrope, c'est l'infini.

IMAGE SUR LA RETINE



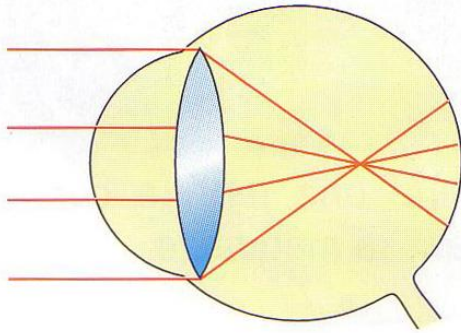
Notre expérience de la vue est une
interprétation du cerveau, en
cohérence avec les autres perceptions.

Expérience de Erismann et Kohler (1931)

LES DEFAUTS DE L'OEIL

Myopie :

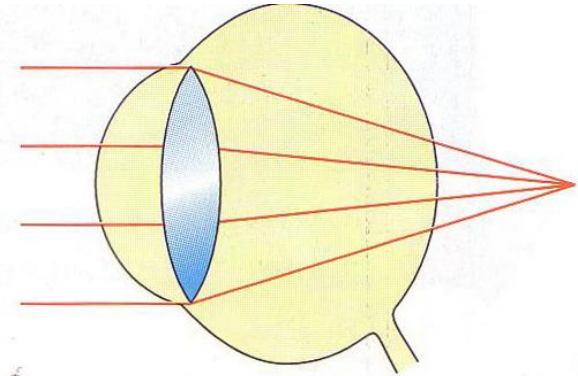
œil allongé, focalisation devant la rétine.



Œil myope

Hypermétropie :

œil aplati, focalisation derrière la rétine.



Œil hypermétrope

Astigmatisme :

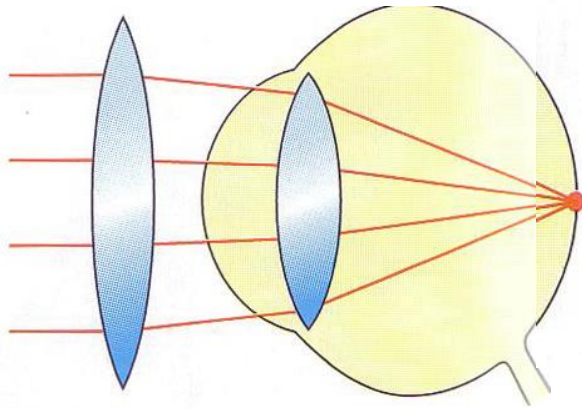
déformation ellipsoïde du cristallin

Presbytie :

vieillessement normal du cristallin,
n'accommode plus suffisamment

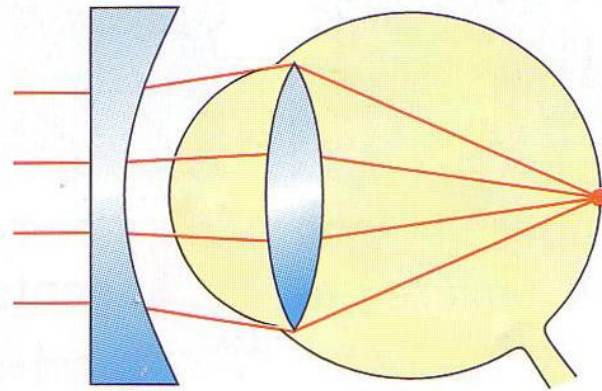
LUNETTES DE CORRECTION

Œil hypermétrope



lentille convergente

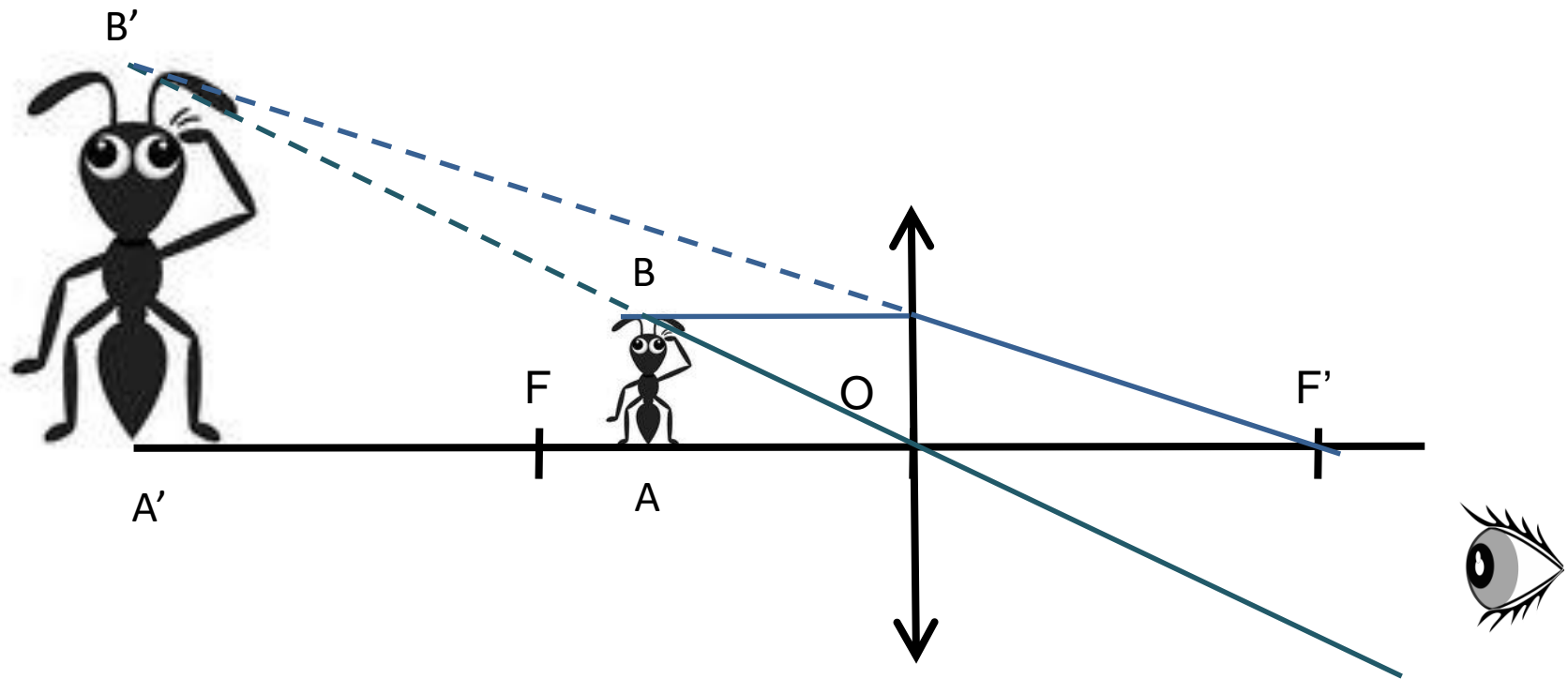
Œil myope



lentille divergente

2. La loupe

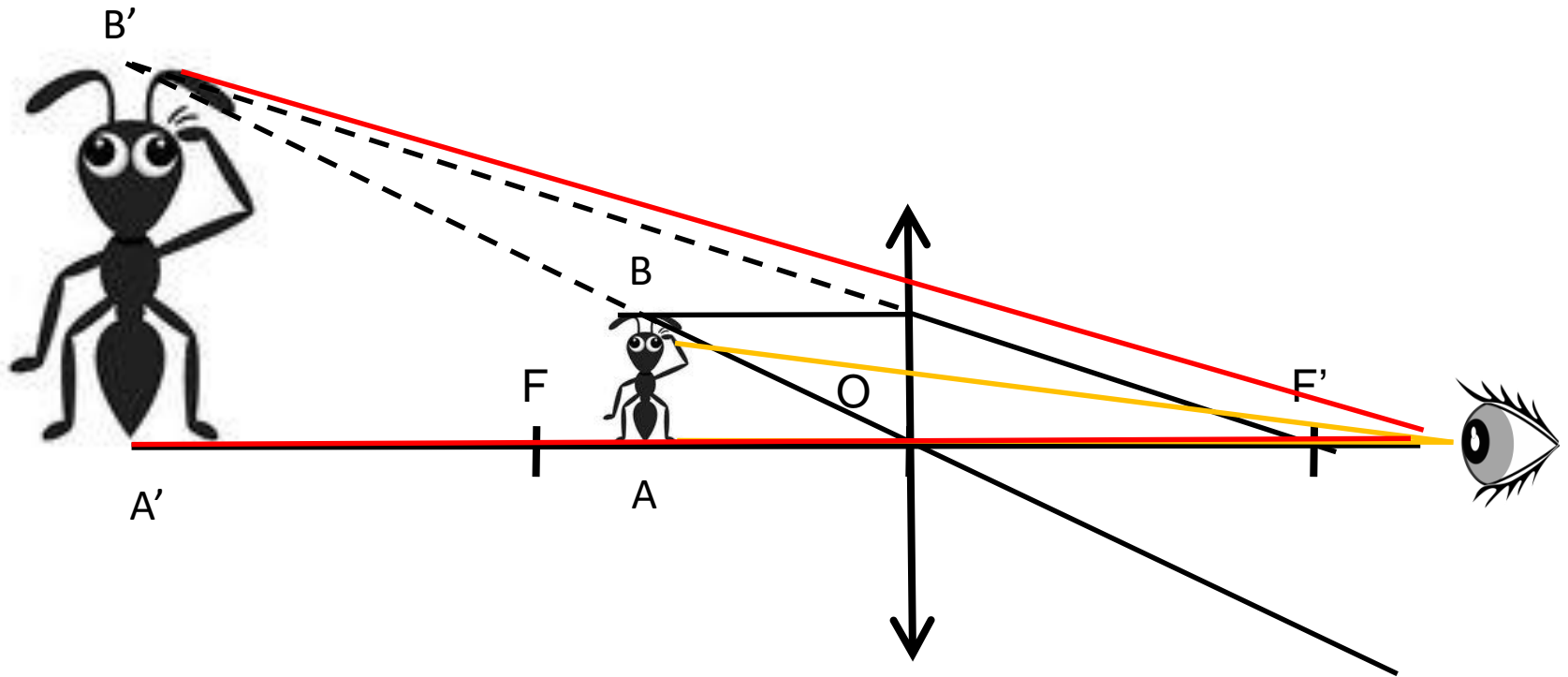
LA LOUPE



Il faut placer l'objet entre O et F car on veut une image virtuelle

LA LOUPE

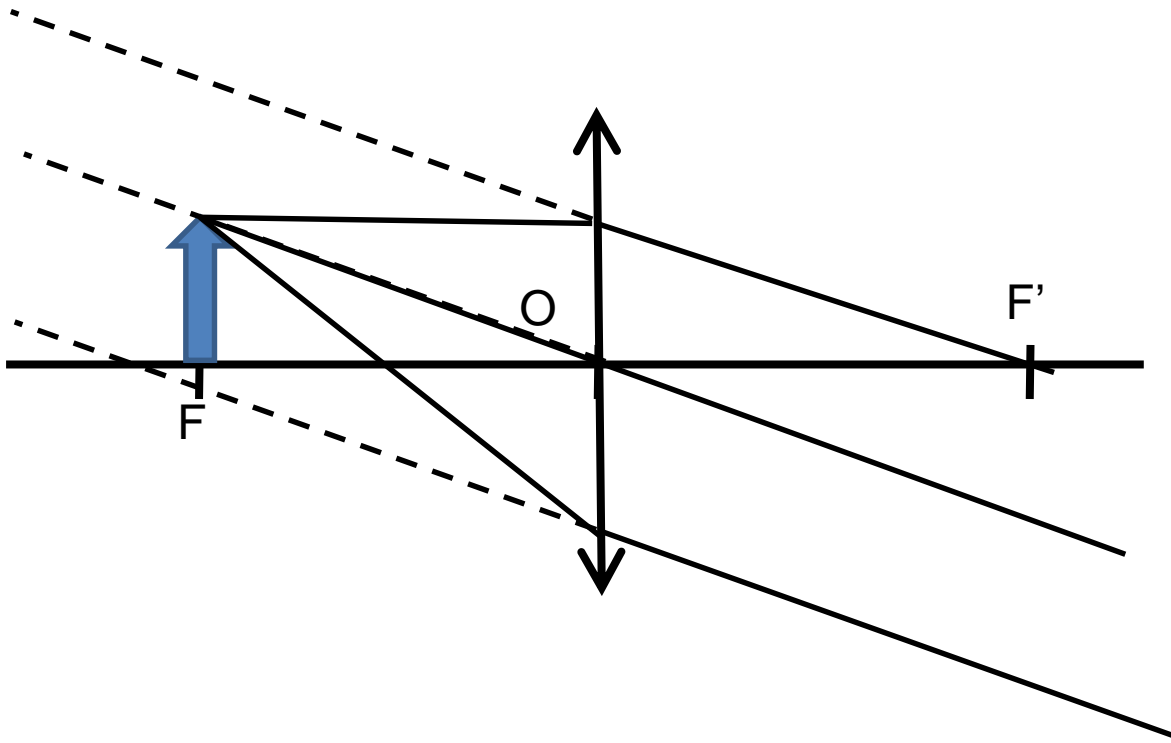
La grandeur qu'on veut maximiser à travers la loupe est la **taille angulaire** :
l'angle sous lequel l'observateur voit l'image.



Par exemple, ici : l'œil voit-il la fourmi plus grande ? Oui

UTILISATION OPTIMALE D'UNE LOUPE

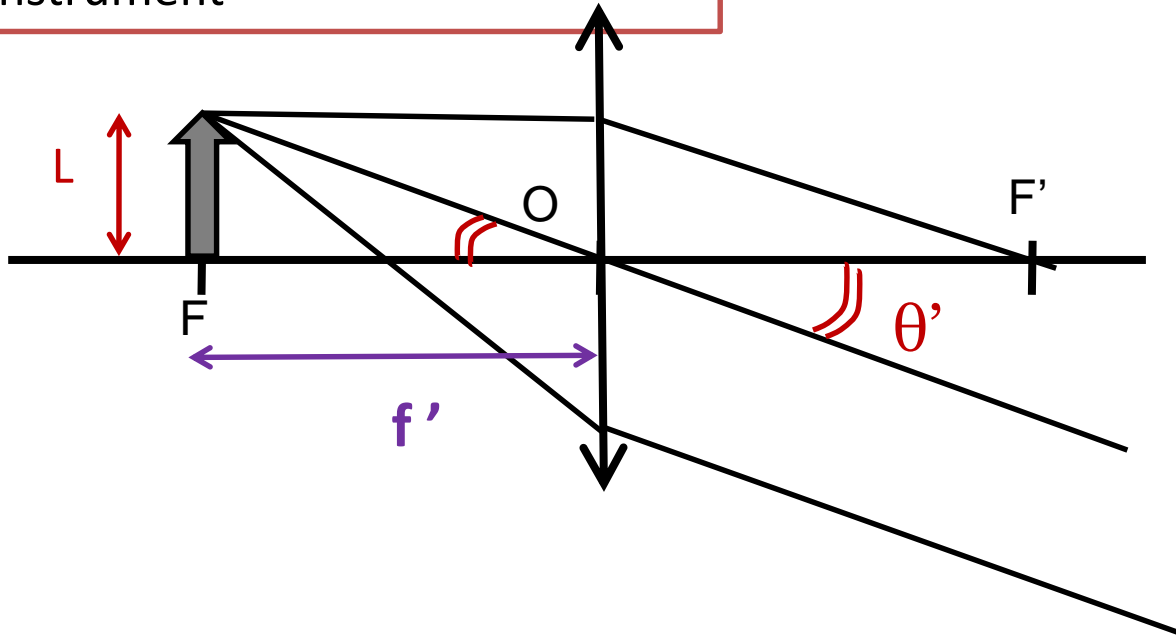
Utilisation optimale : objet sur le foyer objet F \rightarrow Taille angulaire maximale et image à l'infini



Remarque : L'image à l'infini permet de reposer l'oeil

GROSSISSEMENT : rapport de la
taille angulaire de l'image sur la
taille angulaire de l'objet sans
instrument

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$



θ' : angle de l'objet vue avec lentille $\theta' = \frac{L}{f'}$

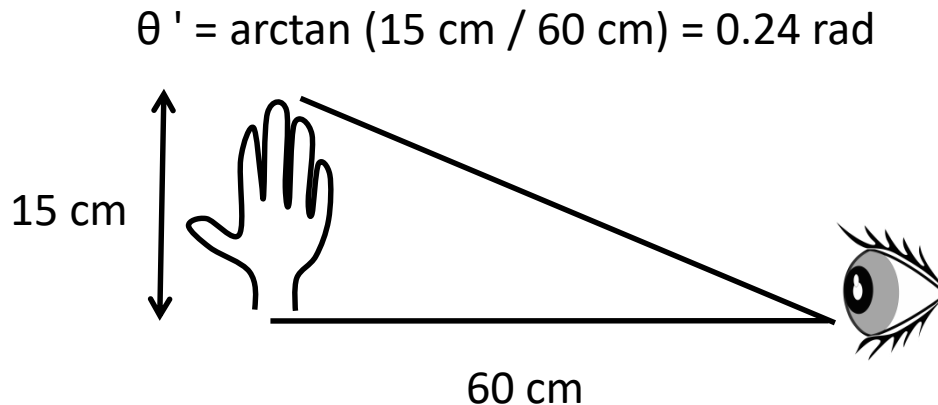
θ : angle de l'objet vue sans lentille $\theta = \frac{L}{PP}$

$$G = \frac{PP}{f'}$$

Grossissement d'une lentille

APPLICATION

Quelle focale doit avoir une loupe pour que une fourmi ($L=2\text{mm}$) nous apparaisse aussi grande qu'une main tendue à bout de bras ?



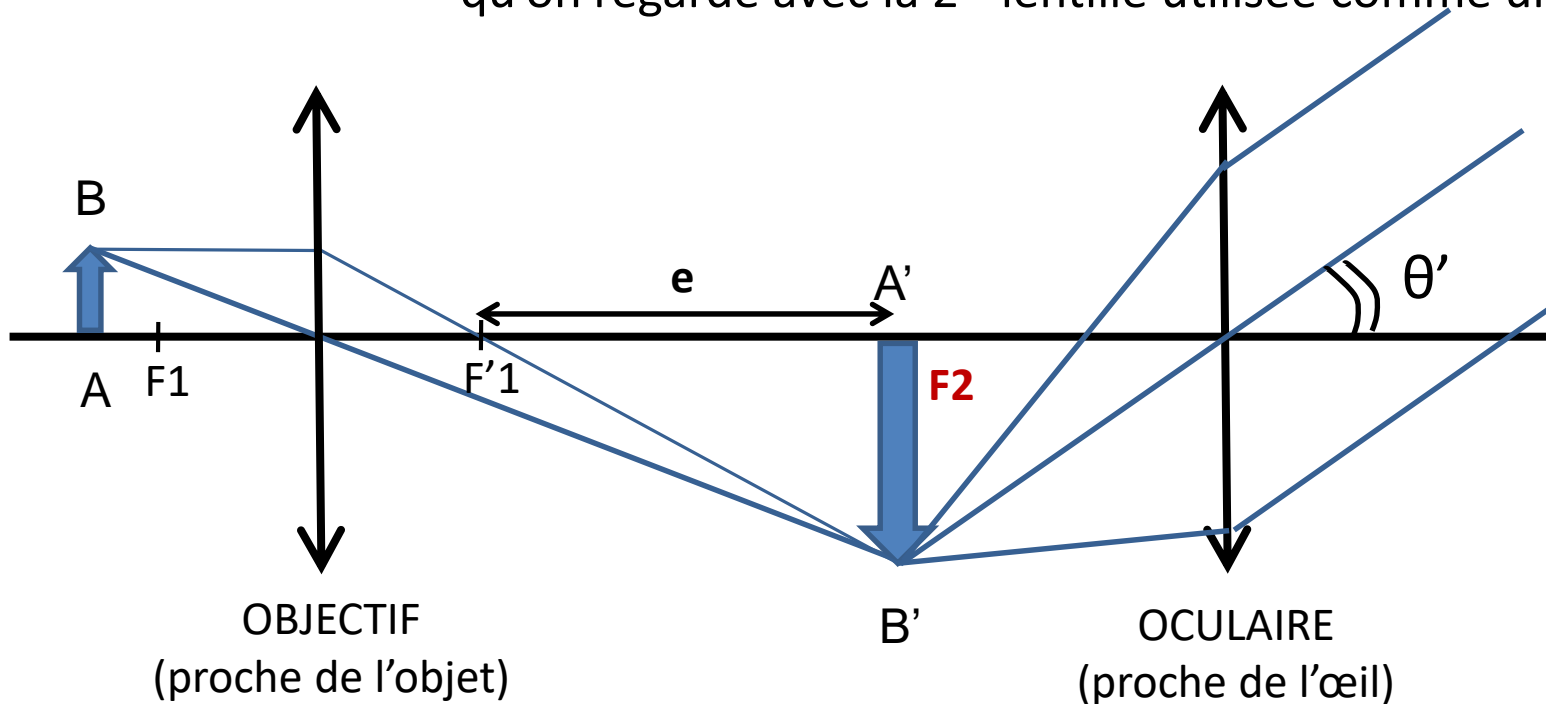
$$\left. \begin{array}{l} G = \frac{PP}{f'} \\ G = \frac{L/f'}{\theta'} \end{array} \right\} \frac{PP}{f'} = \frac{\theta'}{L/PP}$$

$$f' = \frac{L}{\theta'} = 8,3 \text{ mm}$$

3. Le microscope

3. LE MICROSCOPE

Ensemble de 2 lentilles : La 1^e produit une image agrandie qu'on regarde avec la 2^e lentille utilisée comme une loupe

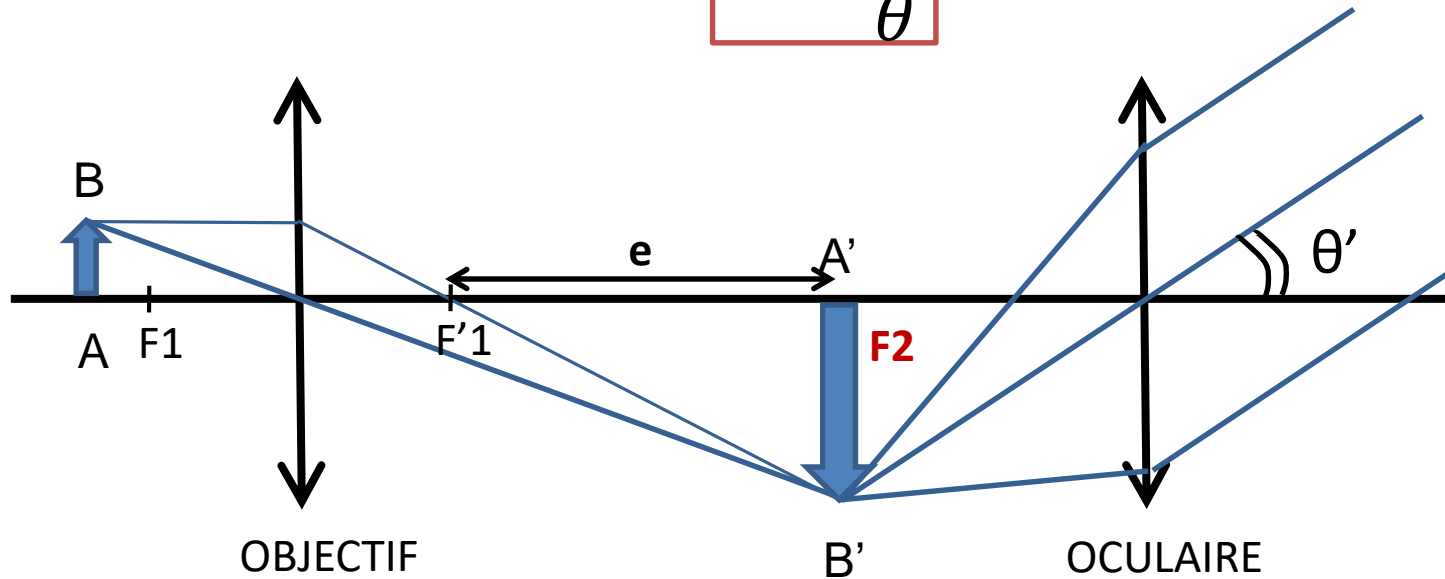


Pour utiliser la loupe de façon optimale il faut que la première image se forme au foyer de l'oculaire.

α' est l'angle sous lequel on voit l'image. **e** est la distance entre **F'1** et **F2**

Grossissement

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$



θ' : angle de l'objet vu avec instrument

θ : angle de l'objet vu sans instrument

$$\left. \begin{array}{l} \theta' = \frac{A'B'}{f'_2} \\ \theta = \frac{AB}{PP} \end{array} \right\} G = \frac{A'B' \cdot PP}{AB \cdot f'_2} = |\gamma_1| \times G_{oc}$$

GROSSISSEMENT D'UN MICROSCOPE

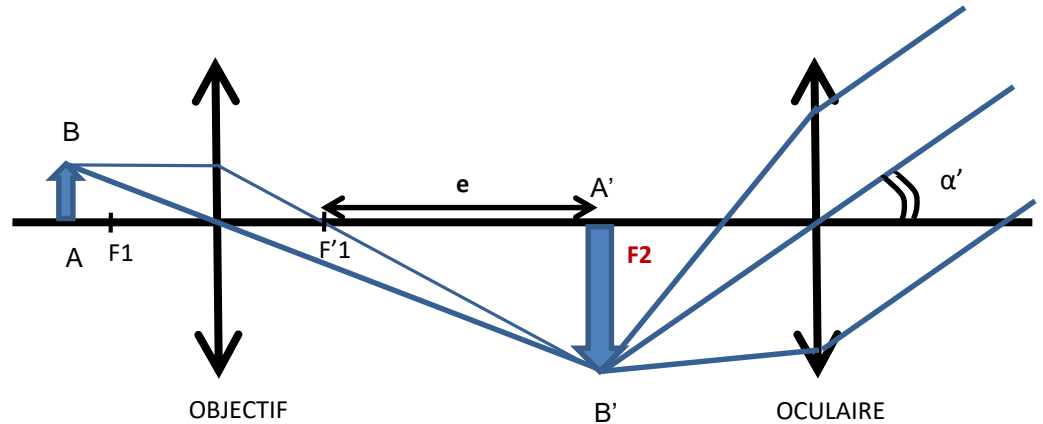
$$G = \frac{\theta'}{\theta} = |\gamma_1| \times G_{oc}$$

$|\gamma_1|$ est gravé sur l'objectif et G_{oc} est gravé sur l'oculaire

Exemple : Le grossissement d'un microscope muni d'un objectif x16 et d'un oculaire x10 est de 160.

EXPRESSION DE G EN FONCTION DES DISTANCES FOCALES

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = |\gamma_1| \times G_{oc}$$

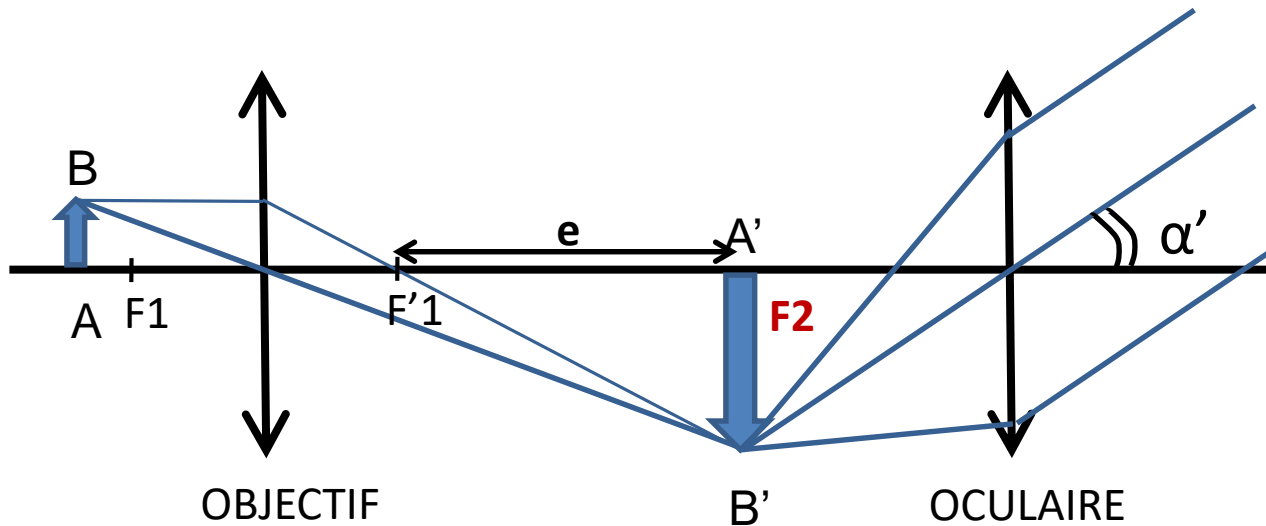


$$\left. \begin{aligned} |\gamma_1| &= \frac{e}{f'_1} \\ G_{oc} &= \frac{PP}{f'_2} \end{aligned} \right\} \quad \boxed{G = \frac{e \cdot PP}{f'_1 \cdot f'_2}}$$

APPLICATION

$$G = \frac{e \cdot PP}{f'_1 \cdot f'_2}$$

Soit un microscope avec $f'_1 = 3,2 \text{ mm}$ et $f'_2 = 25 \text{ mm}$.
Quelle valeur de e faut-il pour avoir $G = 500$?



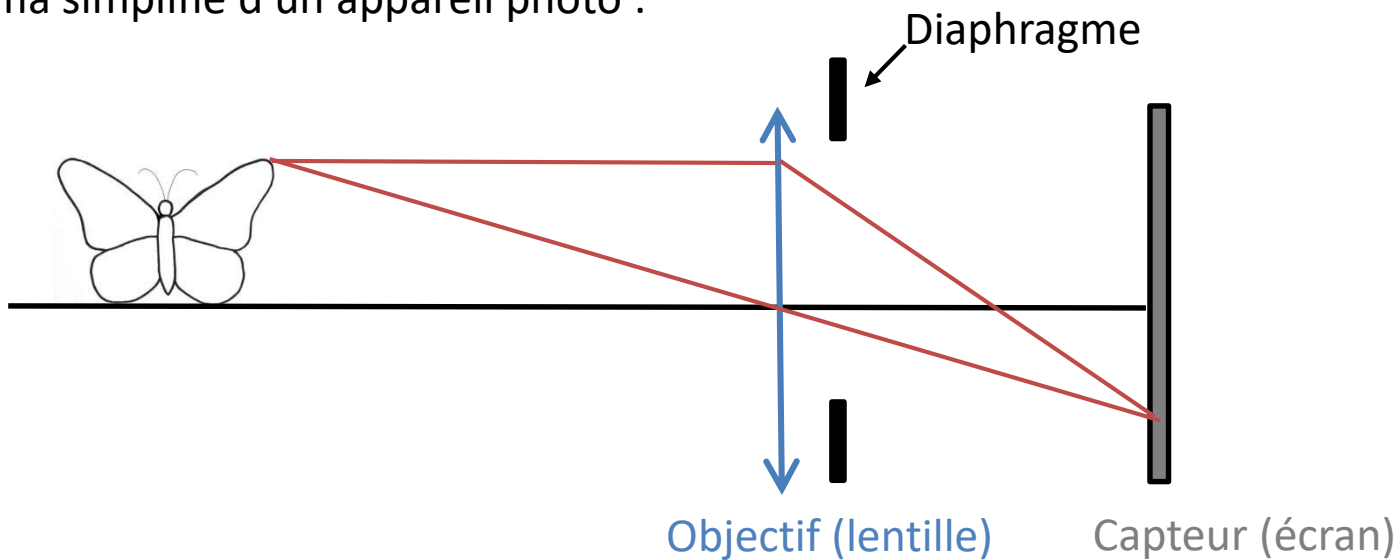
Résultat : $e = 16 \text{ cm}$. Donc dispositif de $\sim 19 \text{ cm}$ de long.

4. L'appareil photo

APPAREIL PHOTO

Obtention d'une image réelle sur un capteur (écran) par une lentille (objectif)

Schéma simplifié d'un appareil photo :

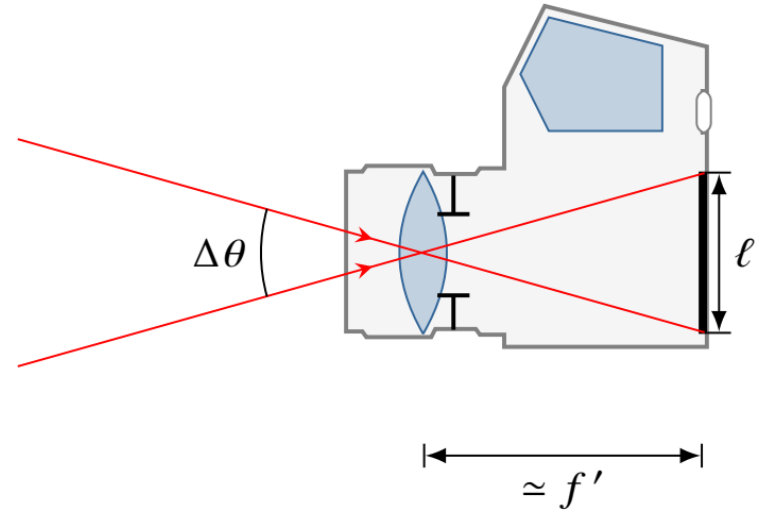


Champ angulaire $\Delta\theta$

Correspond au champ de vision de l'objectif

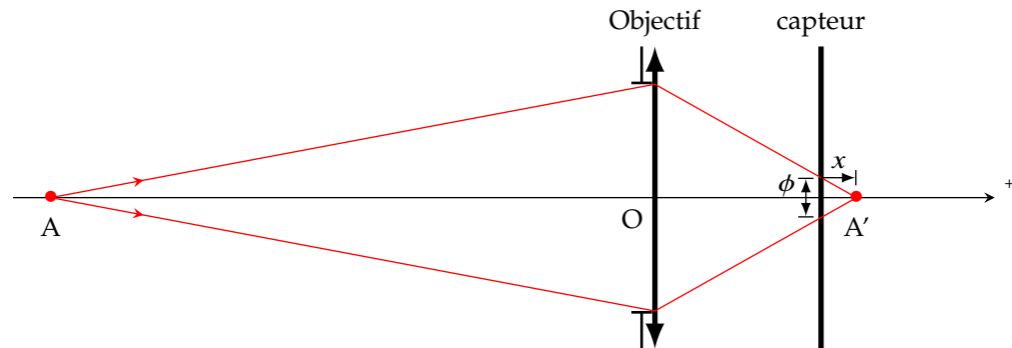
$$\tan \frac{\Delta\theta}{2} = \frac{\ell}{2f'}$$

Diminue avec la focale



Profondeur de champ

Correspond à l'intervalle de longueur pour laquelle l'image est nette.



Fonction de la tailles des pixels... sans démonstration : $\Delta \simeq \phi_0 \frac{OA^2}{Rf'}$

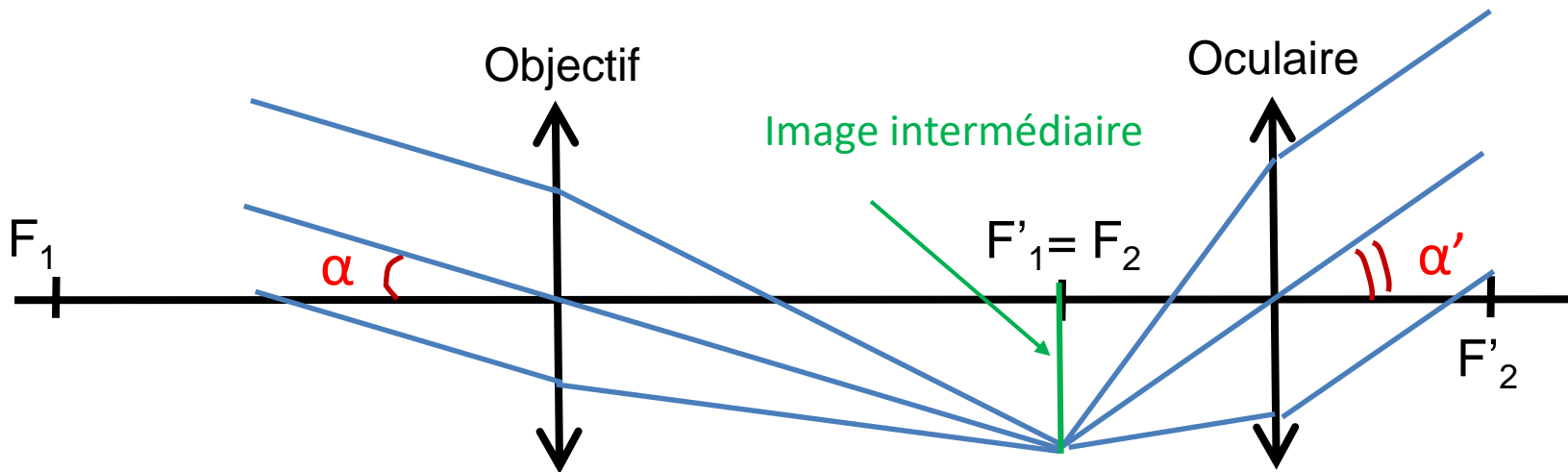
Diminue avec l'ouverture

5. La lunette astronomique

LA LUNETTE ASTRONOMIQUE

But : Grossir un objet situé à l'infini.

Pour cela, deux lentilles : la première (objectif) ramène l'objet sur son plan focal image, la 2^{ème} (oculaire) grossi l'image intermédiaire.

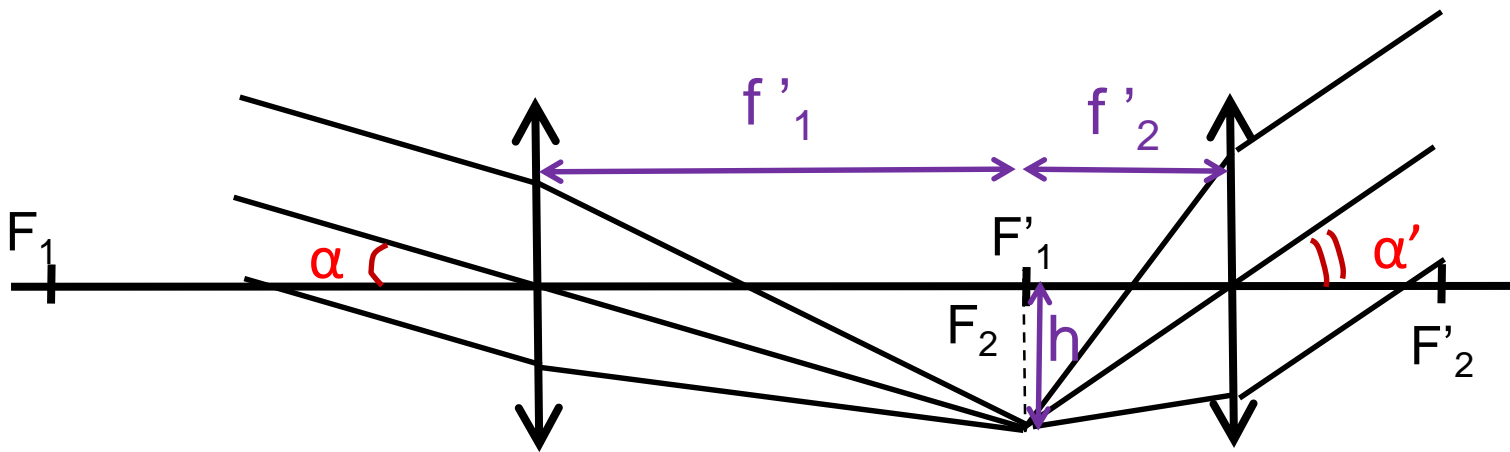


La lunette conjugue un objet à l'infini avec une image à l'infini ($F'_1 = F_2$) : la lunette est dite **afocale**

GROSSISSEMENT D'UNE LUNETTE ASTRONOMIQUE

$$G \equiv \frac{\alpha'}{\alpha}$$

Déterminer $G = f(f'_1, f'_2)$



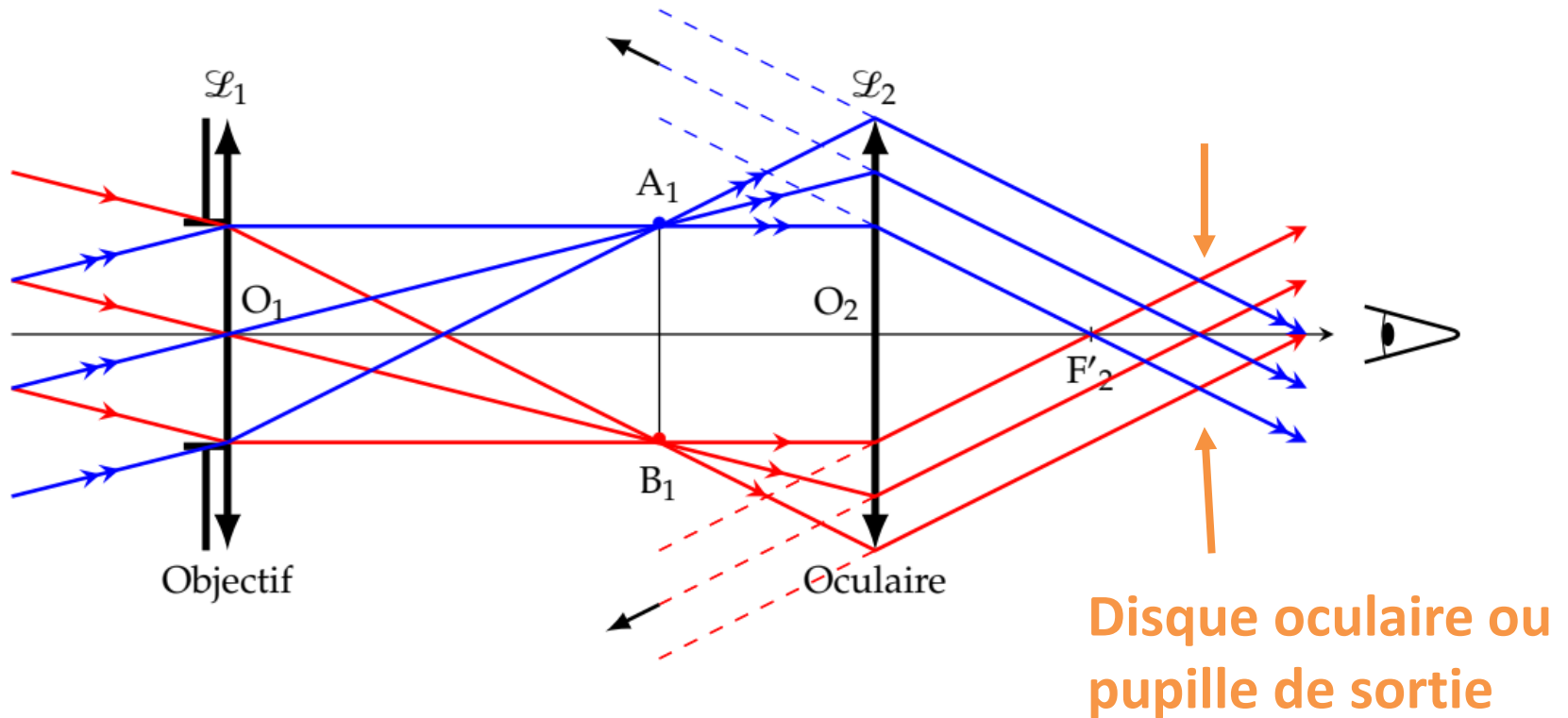
$$\tan(\alpha) = \frac{h}{f'_1} \approx \alpha$$

$$\tan(\alpha') = \frac{h}{f'_2} \approx \alpha'$$



$$G \approx \frac{f'_1}{f'_2}$$

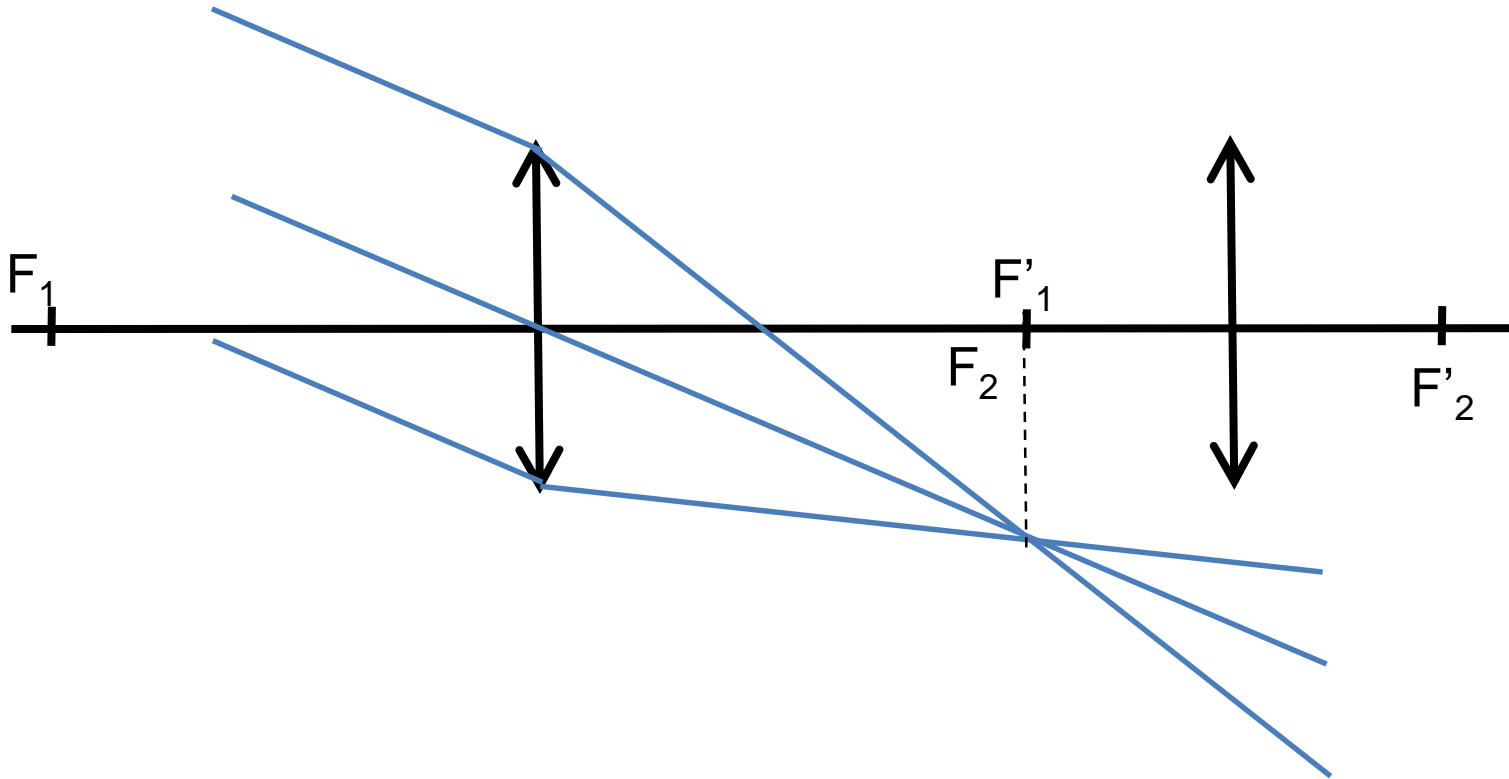
LE DISQUE OCULAIRE



Disque oculaire : C'est l'image de l'objectif par l'oculaire.
C'est à cet endroit qu'on a le maximum de lumière (où mettre son œil)

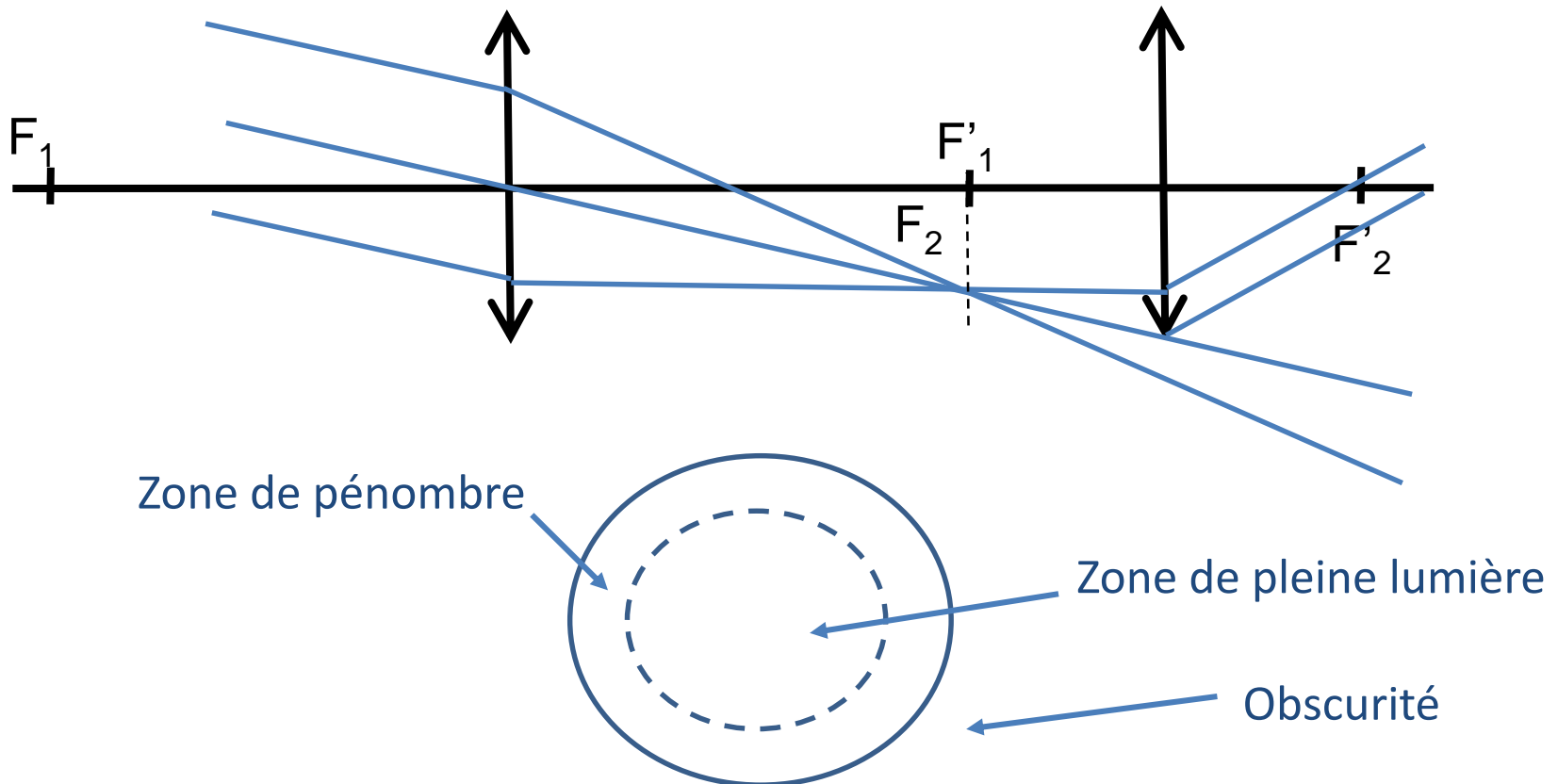
CHAMP D'UN INSTRUMENT

Lumière hors champ : **Obscurité**



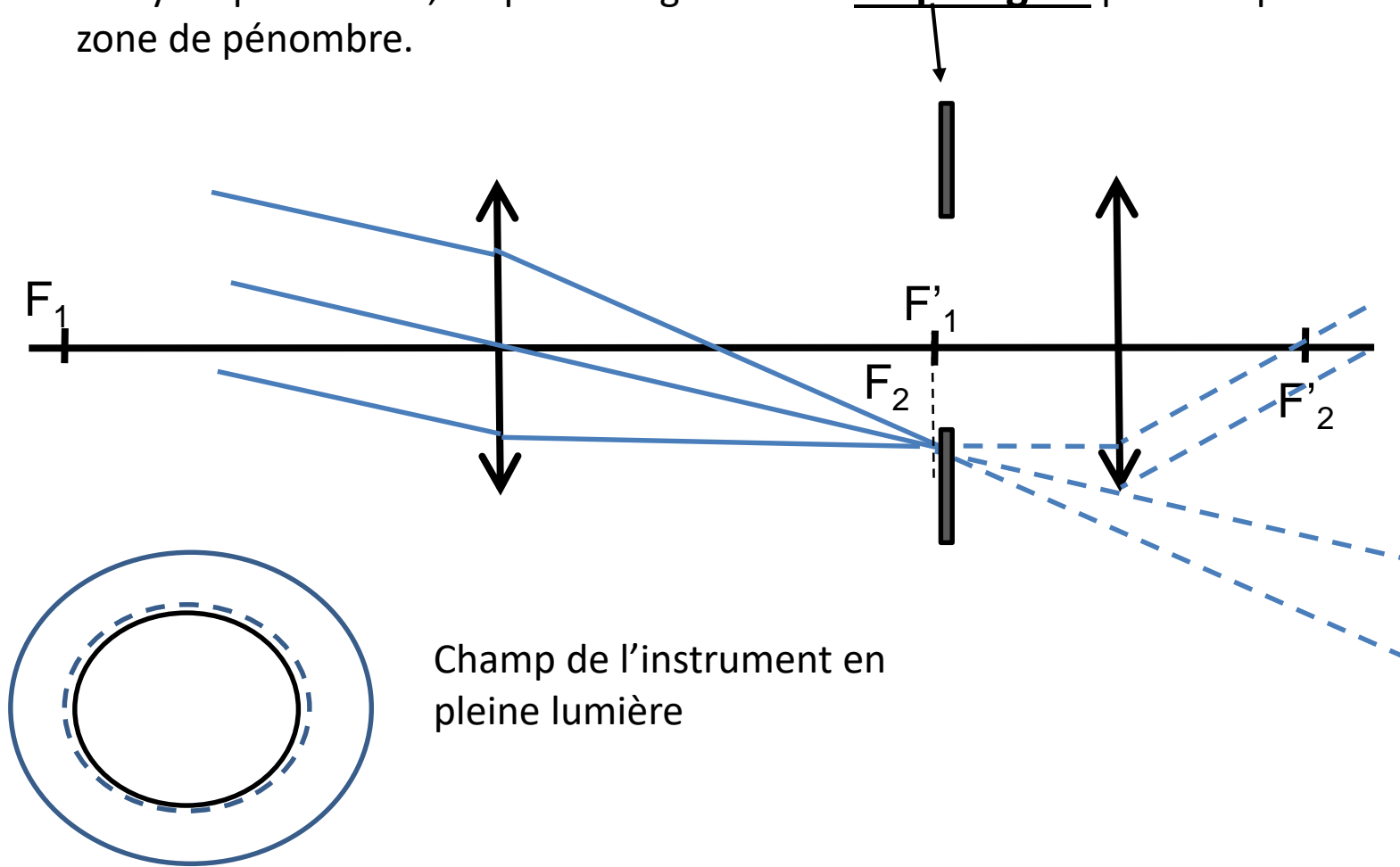
CHAMP D'UN INSTRUMENT

Zone de pénombre : Les bords de l'image finale seront moins éclairés.



CHAMP D'UN INSTRUMENT

Pour éviter la présence de 2 zones d'intensité différentes et avoir des analyses plus fiables, on place en général un **diaphragme** pour couper la zone de pénombre.

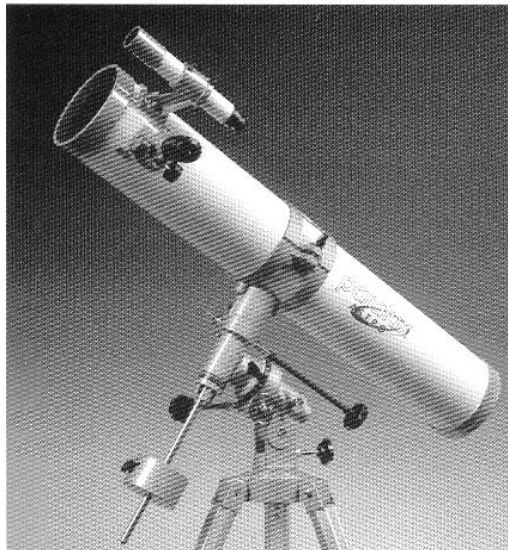


REMARQUES

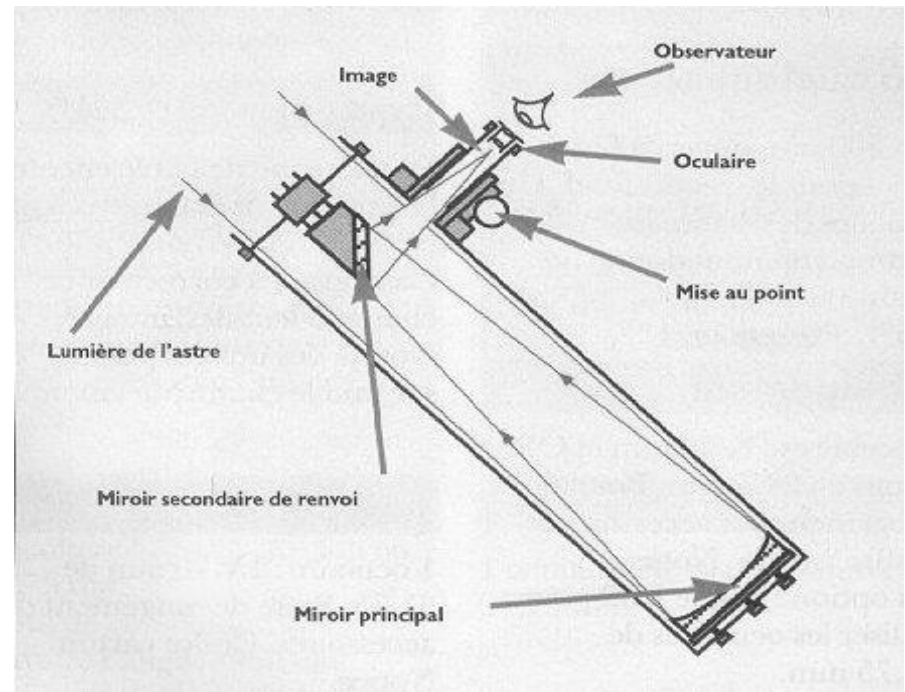
La lunette est l'instrument d'observation du ciel historique. Mais devient encombrante pour un fort grossissement, et on perd en intensité par les multiples dioptries en transmission.

Le télescope utilise des miroirs à la place des lentilles :

- Plus facile à fabriquer lorsque le diamètre augmente (cout, poids)
- Moins de pertes (par diffusion)
- Pas d'aberrations chromatiques

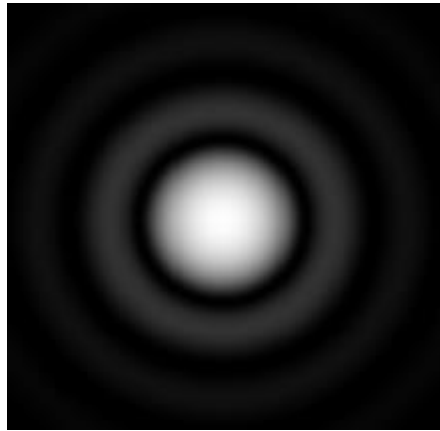


Doc. 7. Télescope de Newton $\varnothing 114/900$ mm (diamètre, focale). Grossissement de 36 \times et 138 \times .



LIMITE DE DIFFRACTION

Si on cherche à optimiser au maximum ces instruments, on est limité par la nature ondulatoire de la lumière (en plus des aberrations géométriques et chromatiques) : la lumière ne peut plus être considérée comme un ensemble de rayons lumineux mais comme une onde. L'image par un diaphragme sera une tâche et non un point.



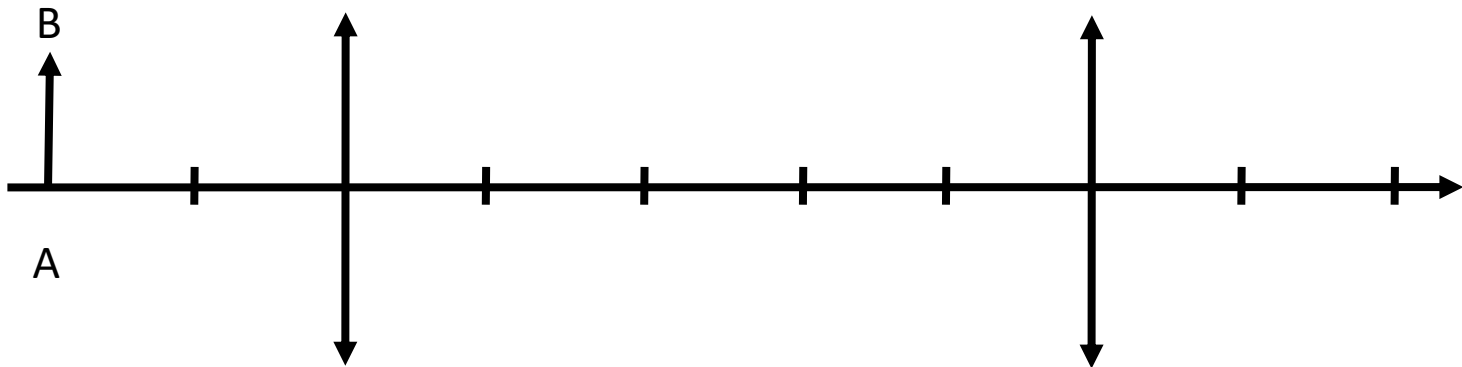
Diffraction par un trou circulaire

On cherche alors à utiliser la longueur d'onde la plus faible possible (microscope électronique par exemple)

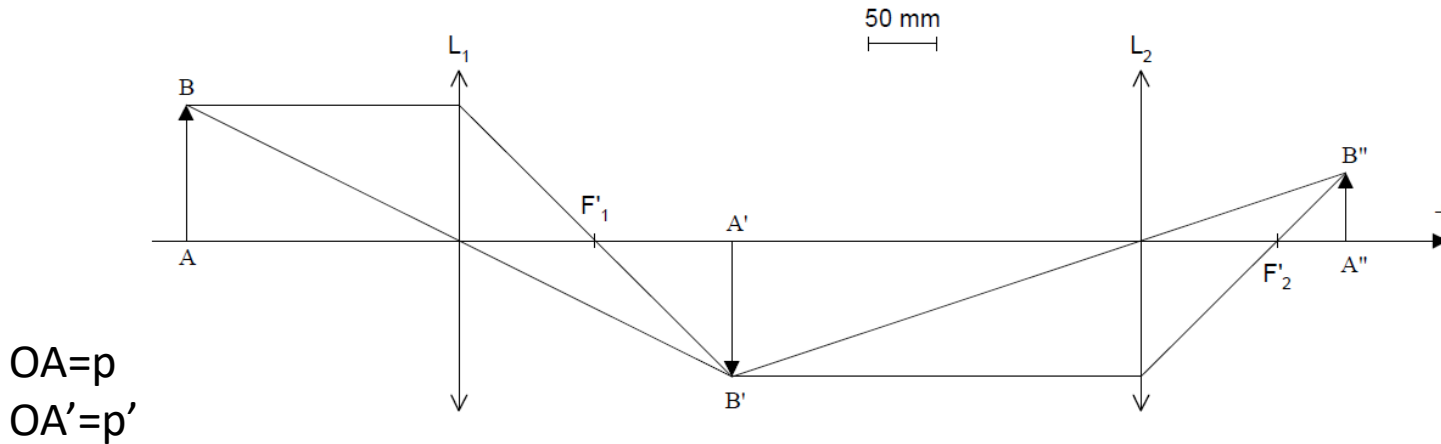
Association de lentilles

Exemples

Deux lentilles avec $f' = +100 \text{ mm}$ distantes de $d = 500 \text{ mm}$. Objet AB de **100mm de haut à 200 mm** de la première lentille
Image à travers le système des deux lentilles ?



Où faut-il placer l'objet AB pour obtenir, à travers le système des deux lentilles, une image réelle, droite et de même taille ?



Première lentille (objet $AB \rightarrow$ image $A'B'$)

$$p = -200 \text{ mm}$$

d'où : $p' = +200 \text{ mm}$ (Note : distance par rapport à L_1)

$$\gamma = -1$$

Deuxième lentille (objet $A'B' \rightarrow$ image $A''B''$)

$$p = +200 - 500 = -300 \text{ mm} \quad (\text{Note : c'est bien la distance par rapport à } L_2 \text{ et non } L_1)$$

$$\text{d'où : } p' = +150 \text{ mm}$$

$$\gamma = -0,5$$

Donc l'image $A''B''$ est réelle, située 150 mm après la deuxième lentille, droite et de taille 50 mm.