

INFOS

- Correction du quiz en ligne
- **Dernier cours d'optique aujourd'hui**, mercredi prochain **électronique**
- Encore quatre TDs d'optique. **Jeudi 3 octobre : examen blanc**
- **Examen d'optique mardi 8 octobre**

OPTIQUE GEOMETRIQUE

IV. Instruments d'optique

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

INTRODUCTION

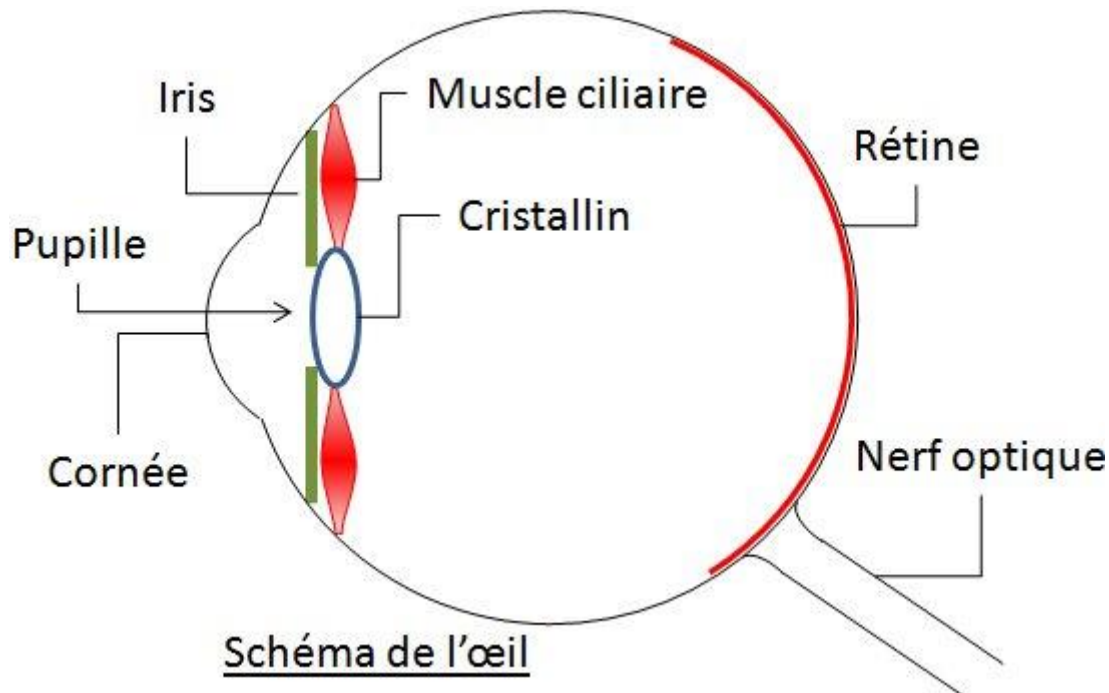
Définition : un instrument d'optique est un dispositif qui permet de former des images

« 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

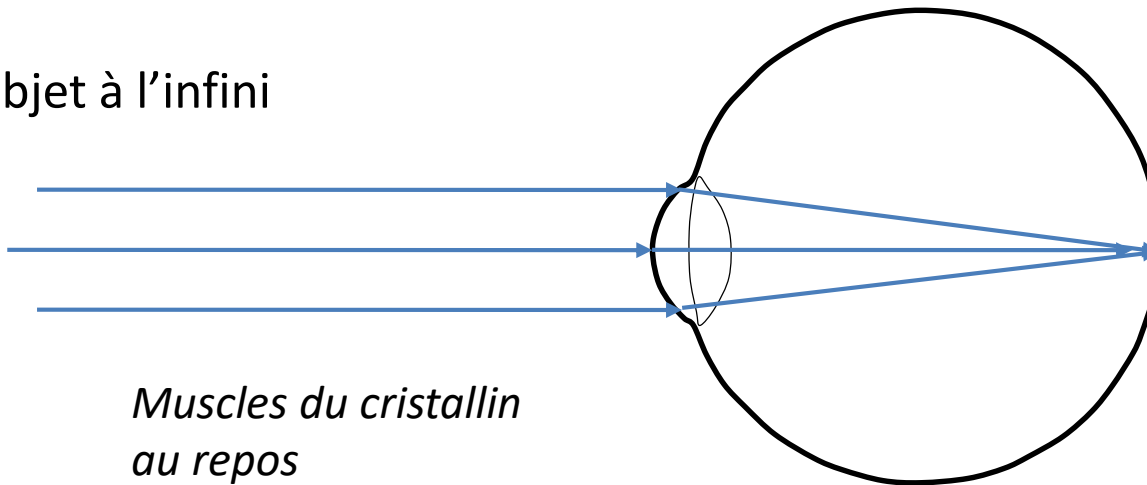
1. L'œil



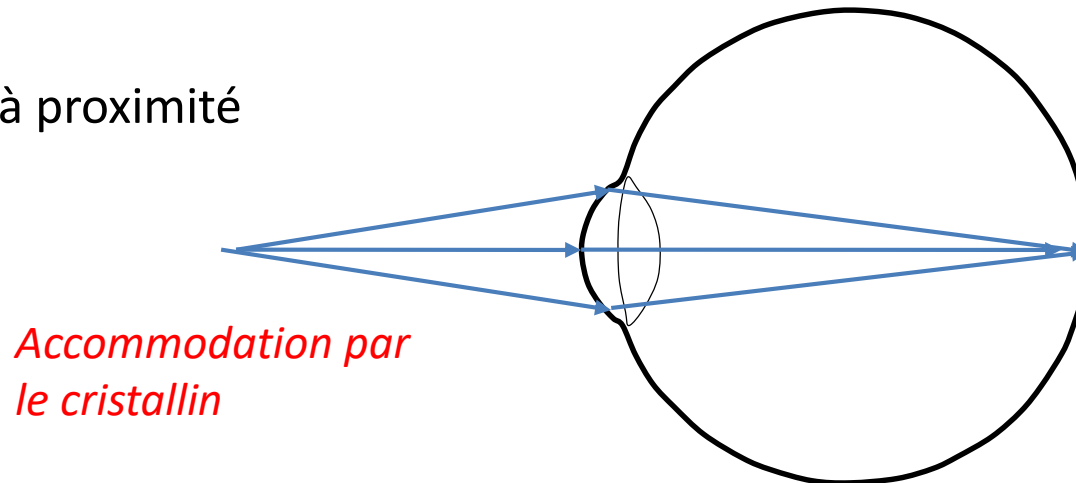
L'œil est convergent

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.

Objet à l'infini



Objet à proximité



Punctum proximum : le point le plus proche que l'on peut voir net. Environ ?

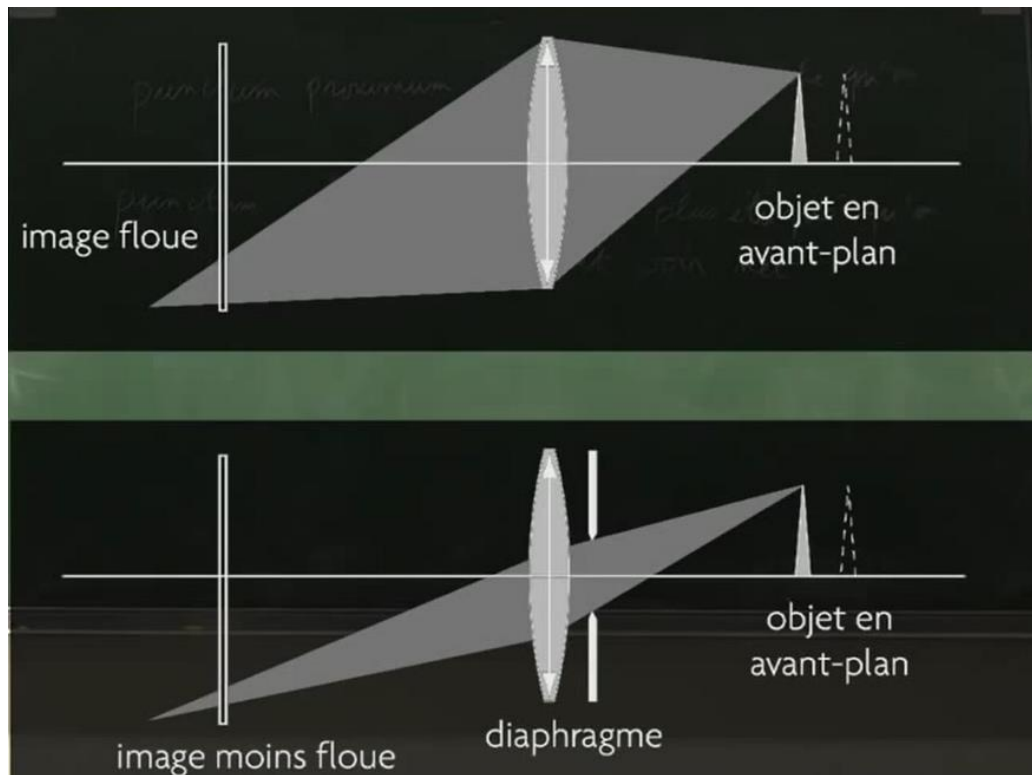
DEFINITIONS

Punctum proximum : le point le plus proche que l'on peut voir net correspondant au maximum de contraction du cristallin (Environ 10/20 cm)

Punctum remotum : le point le plus éloigné que l'on peut voir net
Pour un œil emmétrope, c'est l'infini

REMARQUE : UNE EXPERIENCE

Si l'on regarde à travers un petit trou d'épingle fait dans un morceau de carton, quel est le punctum proximum ?

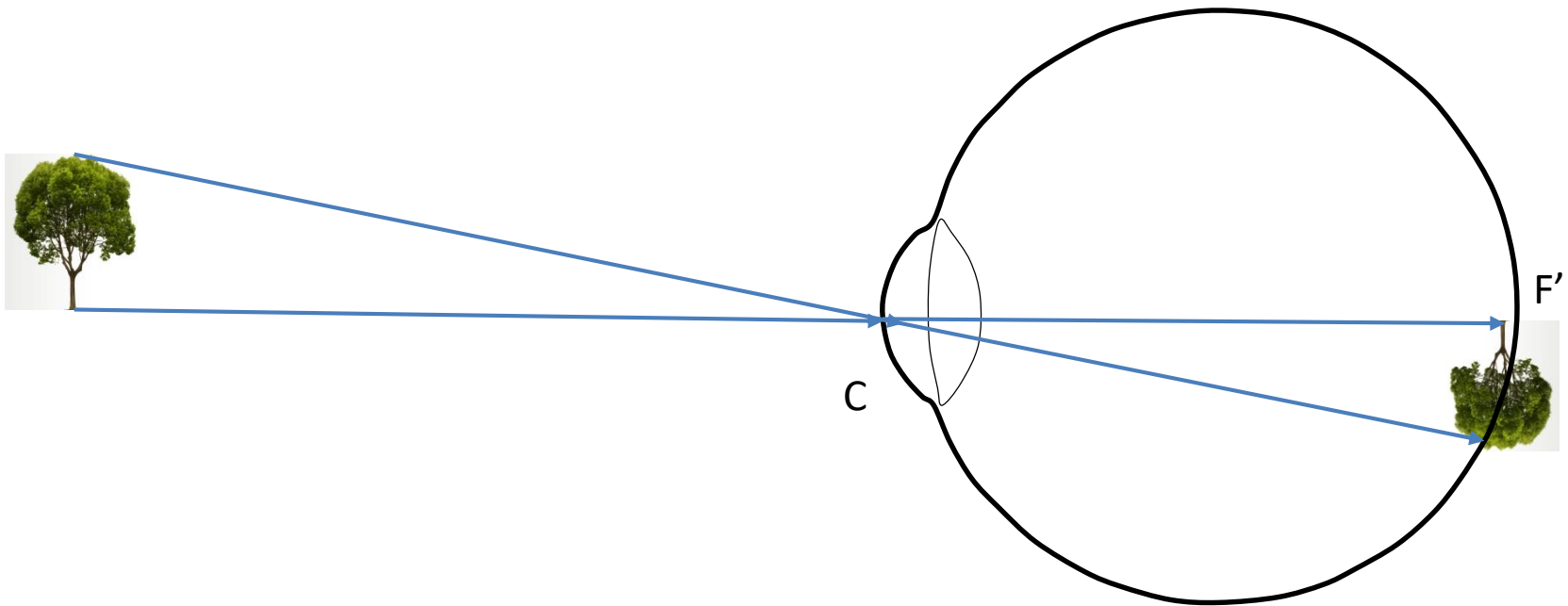


Attention! Arnaque : les lunettes à trous



Le punctum proximum semble plus petit, car on isole un petit faisceau de lumière et l'image semble ainsi plus nette. De même avec un appareil photo, en fermant le diaphragme on augmente la profondeur de champ - mais on diminue fortement la luminosité

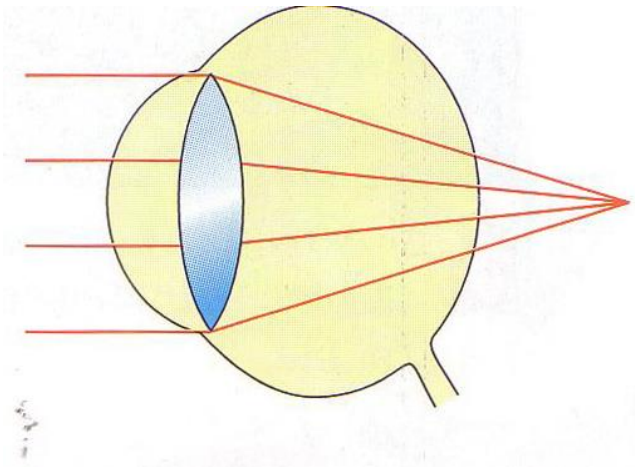
IMAGE INVERSEE SUR LA RETINE



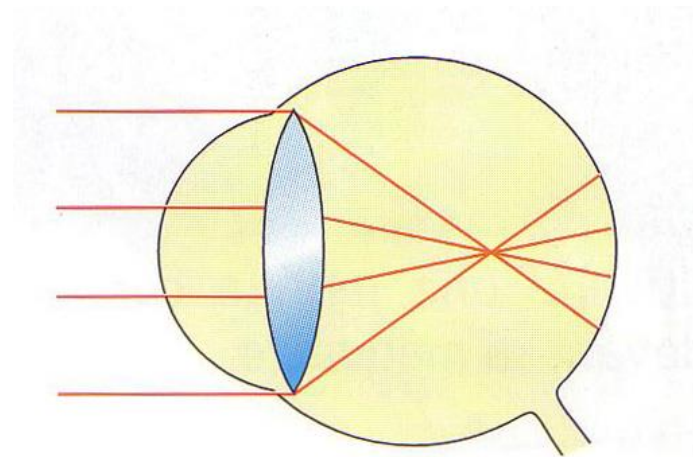
(Expérience de Erismann et Kohler)

LES DEFAUTS DE VISION

- Hypermétropie (loin : net / près : flou)
- Presbytie (loin : net / près : flou)
- Myopie (loin : flou / près : net)
- Astigmatisme (déformation ellipsoïde de l'œil/de l'accommodation)



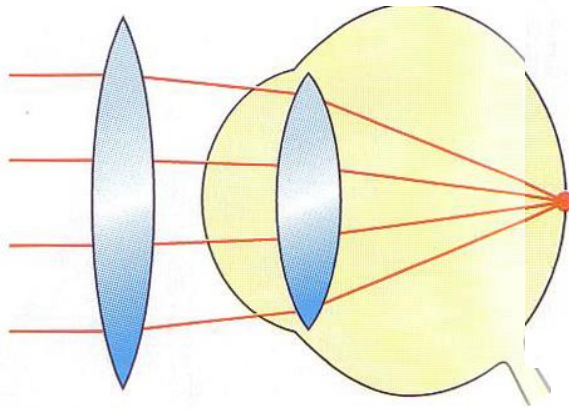
Œil hypermétrope



Œil myope

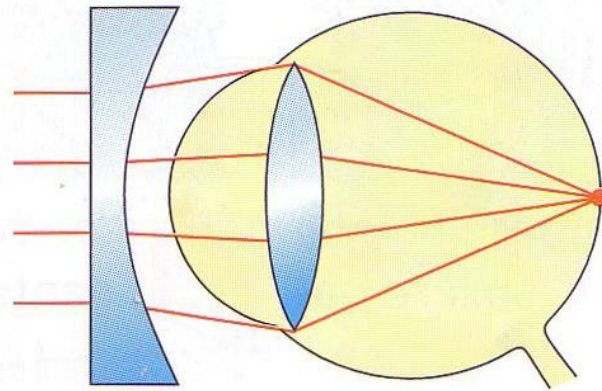
LUNETTES DE CORRECTION

Œil hypermétrope



lentille convergente

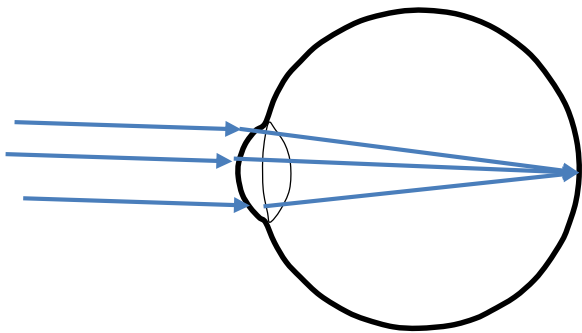
Œil myope



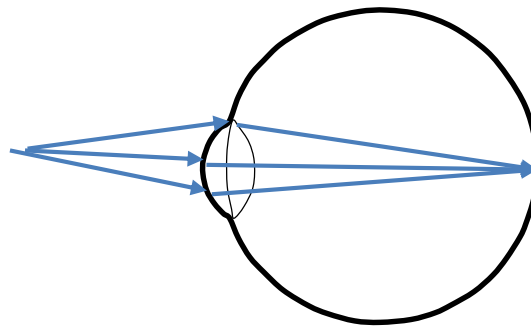
lentille divergente

ŒIL ET INSTRUMENTS D'OPTIQUE

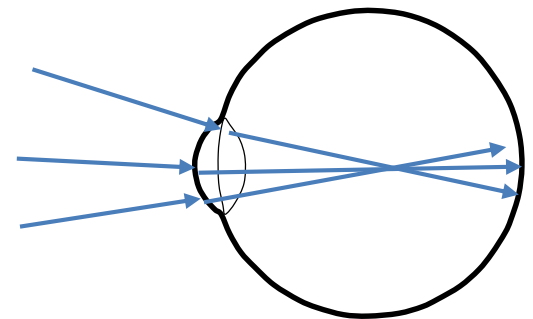
Pour qu'on voit quelque chose avec l'œil il faut un objet qui émet avec des rayons divergents
Et le plus confortable c'est un objet à l'infini dans lequel l'œil n'a pas besoin d'accomoder



Rayons parallèles
OK



Rayons divergents
OK
(Si l'objet est plus
loin que le PP)

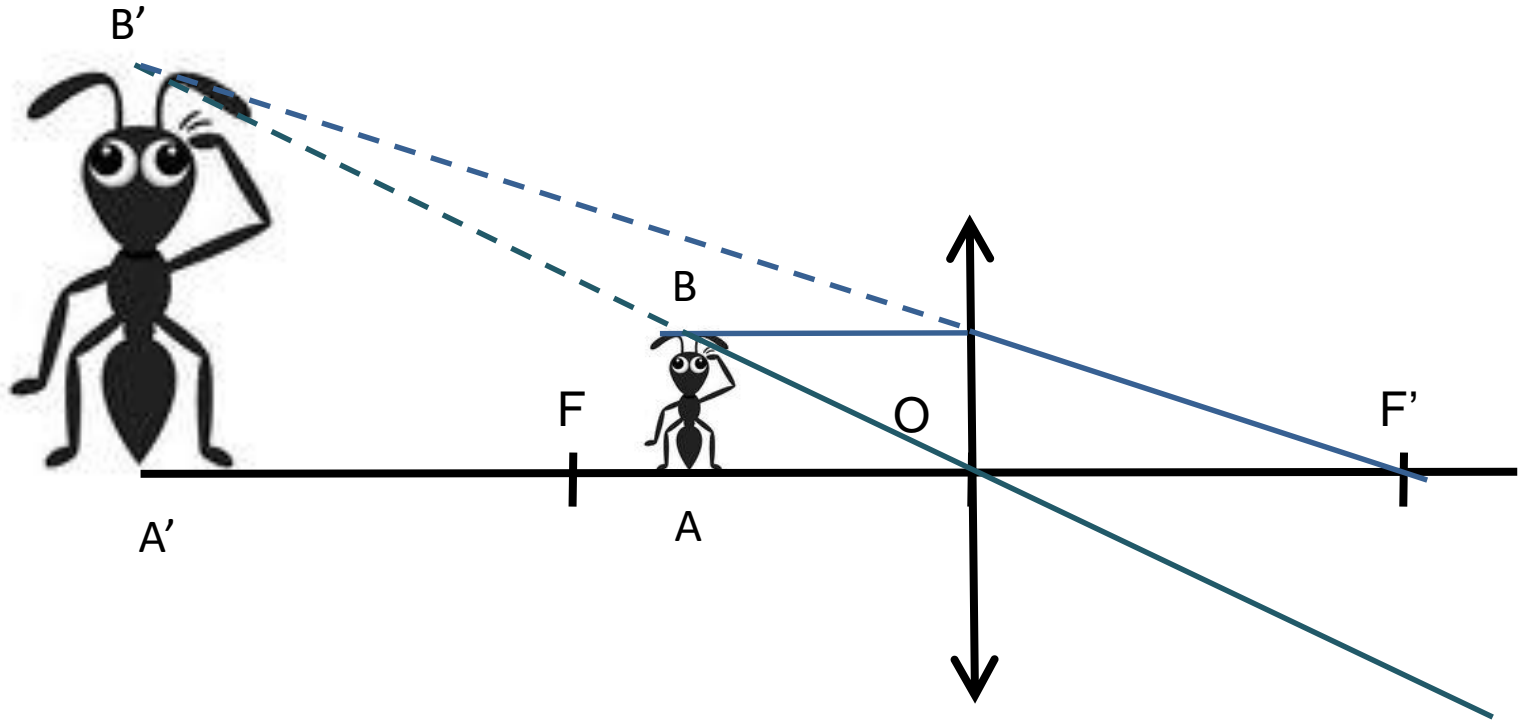


Rayons convergents
Non!
L'œil est convergent

2. La loupe

LA LOUPE

La loupe est une lentille convergente utilisée dans certaines conditions



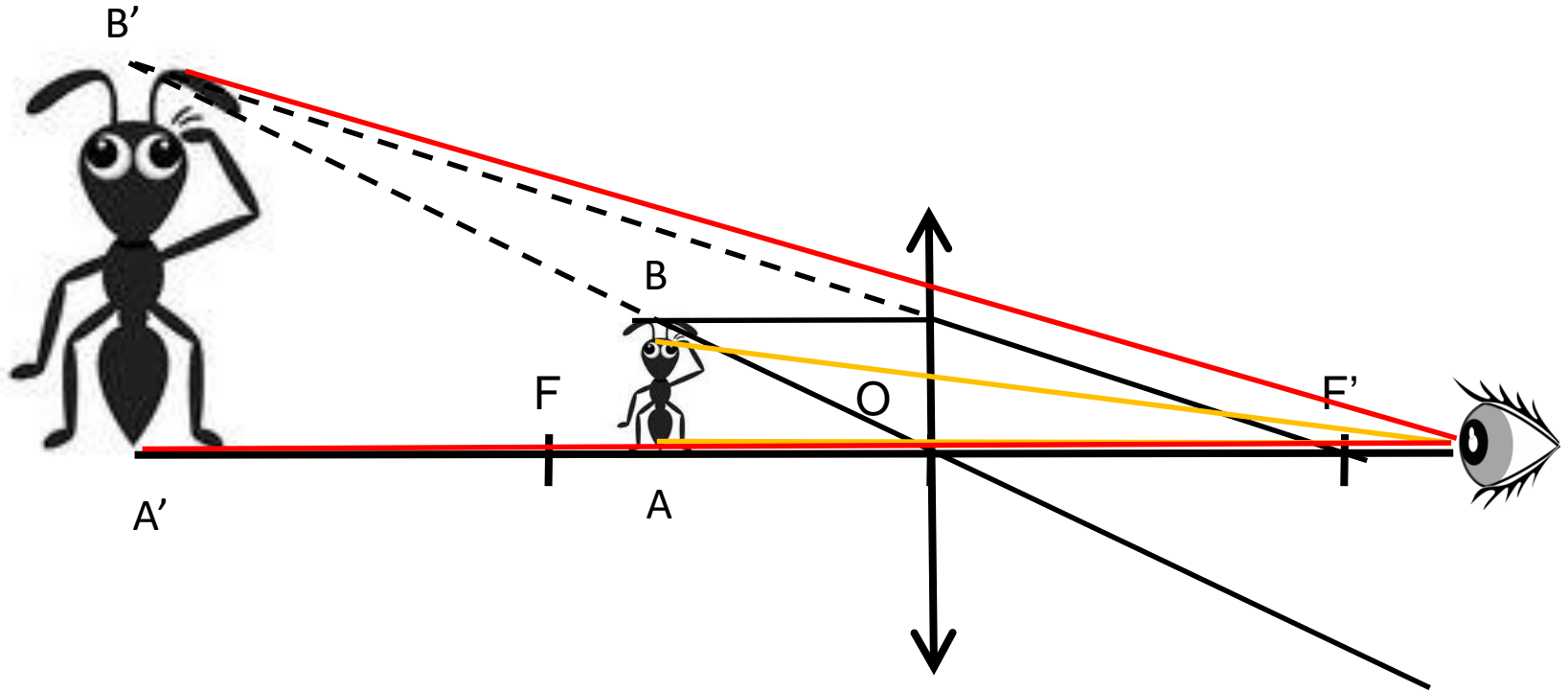
Il faut mettre l'objet entre O et F car on veut une image virtuelle

Où est l'image ?

EFFICACITE D'UNE LOUPE

Pour qu'une loupe soit efficace :

Image grande ET distance observateur/image petite → **taille angulaire**



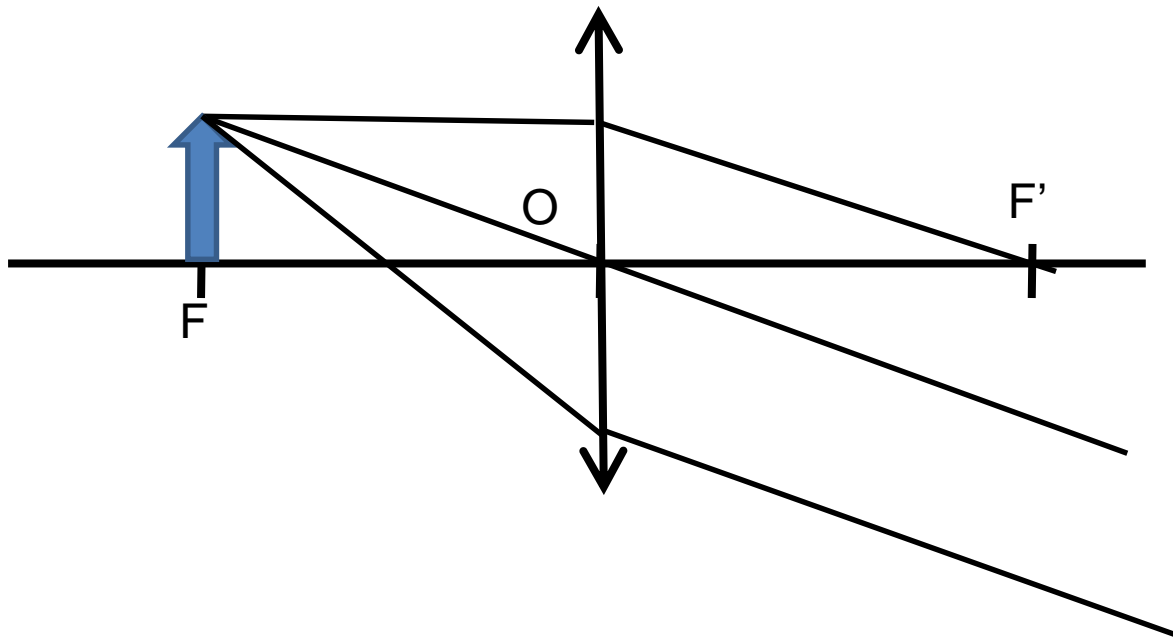
Par exemple, ici : l'œil voit-il la fourmi plus grande ?

Oui

UTILISATION OPTIMALE D'UNE LOUPE

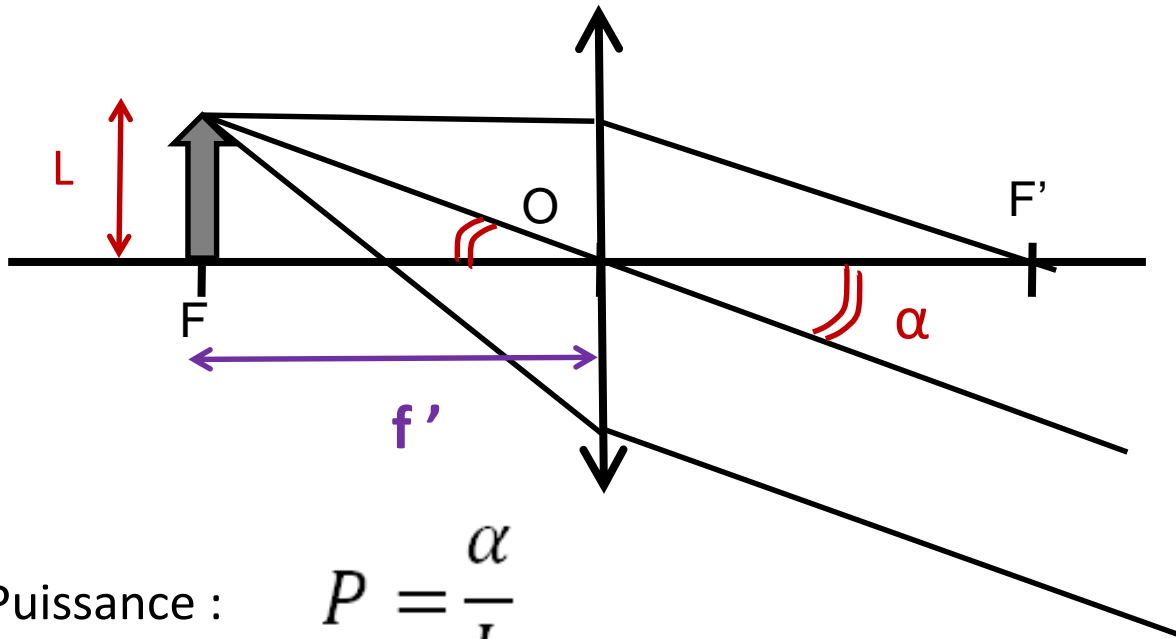
Si on rapproche la fourmi de la loupe, l'image se rapproche mais devient plus petite

Utilisation optimale : objet sur le foyer objet F \rightarrow image à l'infini (rayons parallèles)



Remarque : la loupe permet de voir plus grand, mais aussi de voir une image à l'infini donc de reposer l'œil (plus d'accommodation)

PUISSANCE D'UNE LOUPE



Puissance :
$$P = \frac{\alpha}{L}$$

Expression de P en fonction de f' ? $\tan(\alpha) = \frac{L}{f'} \approx \alpha$ Donc

$$P = \frac{1}{f'}$$

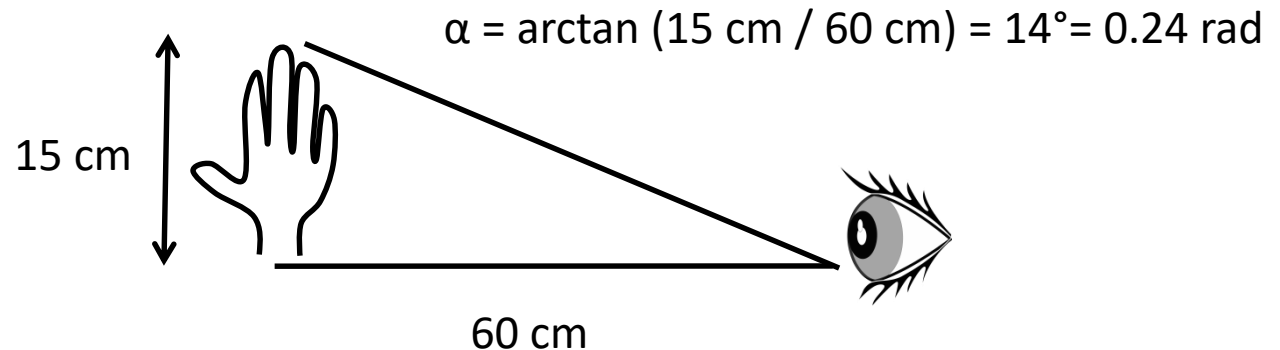
Attention, ici la puissance n'a pas du tout la dimension d'une énergie / temps !

APPLICATION

Quelle puissance doit avoir une loupe pour que une fourmi nous apparaisse aussi grande qu'une main tendue à bout de bras ?

$$P = \frac{\alpha}{L}$$

L = taille de la fourmi, disons 2mm



$$\rightarrow P = 0.24 / 2 \times 10^{-3} = 120 \text{ m}^{-1}$$

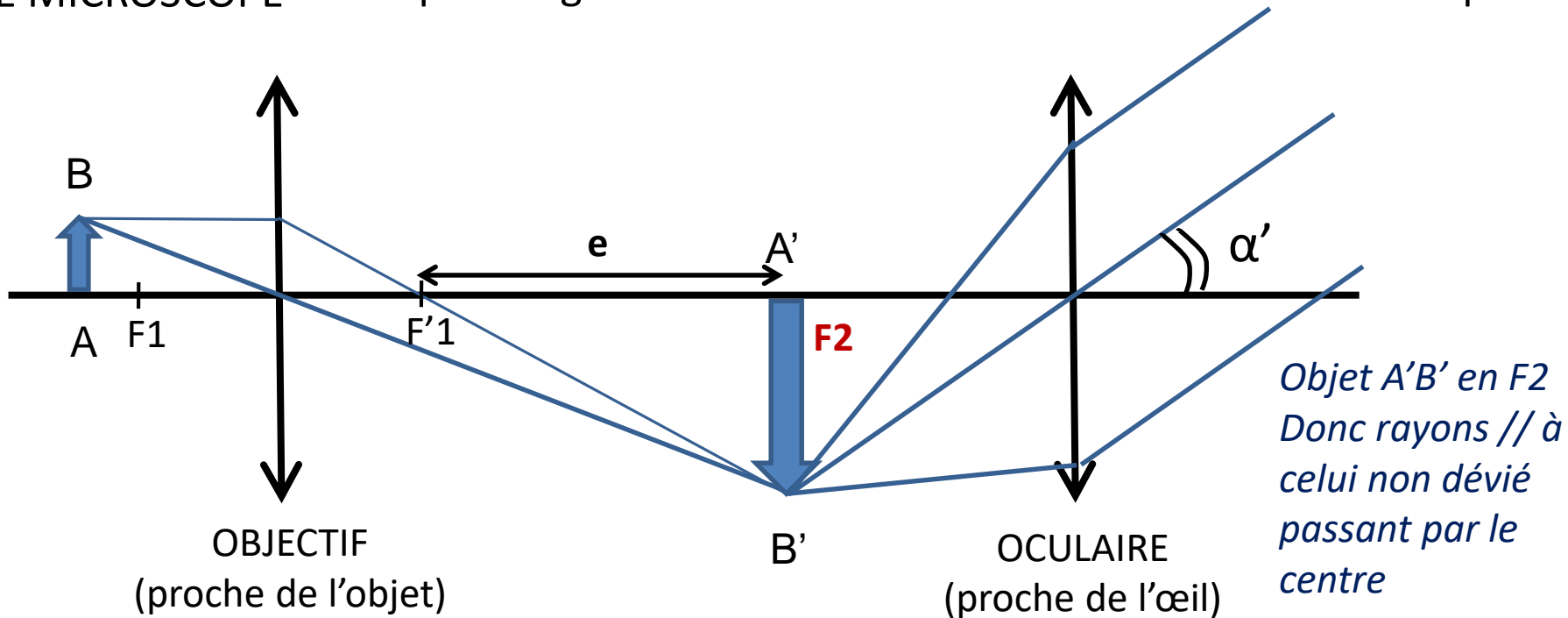
$$\text{Donc } f' = 1/P = 8,3 \text{ mm}$$

Cette lentille vient donc d'une sphère de $\approx 1 \text{ cm}$ de rayon \rightarrow petite taille !
limitation des lentilles : leur taille et donc la luminosité reçue.

3. Le microscope

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.

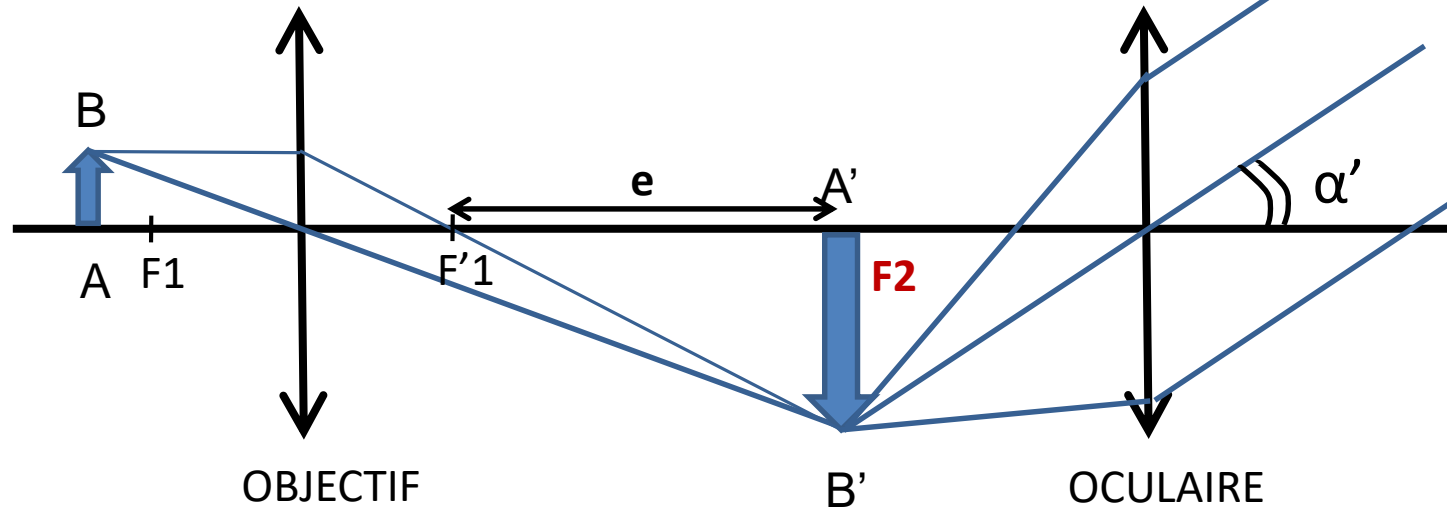


Pour utiliser la loupe de façon optimale il faut que la première image se forme au foyer de l'oculaire.

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

PUISSANCE DU MICROSCOPE

$$P' = \frac{\alpha'}{AB}$$



Expression de P' en fonction des distances focales des lentilles ?

$$P' = \frac{\alpha'}{AB} = \frac{\alpha'}{A'B'} \times \frac{A'B'}{AB} = P \times \gamma$$

2 étapes : calcul de la puissance P de l'oculaire puis du grandissement γ de l'objectif

EXPRESSION DE P' EN FONCTION DES DISTANCES FOCALES

$$P' = \frac{\alpha'}{AB} = \frac{\alpha'}{A'B'} \times \frac{A'B'}{AB} = P \times \gamma$$

$$P = \frac{1}{f'_2}$$

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \quad (\text{Thalès})$$

On utilise la relation de conjugaison : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'_1}$

Qu'on multiplie par $\overline{OA'}$: $\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA'}} - \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{OA'}}{f'_1}$

$$1 - \gamma = \frac{\overline{OA'}}{f'_1}$$

$$\gamma = 1 - \frac{\overline{OA'}}{f'_1}$$

Pour exprimer la relation en fonction de e, on écrit :

$$\gamma = \frac{f'_1 - \overline{OA'}}{f'_1} = \frac{\overline{OF'_1} - \overline{OA'}}{f'_1}$$

$$\overline{OF'_1} = -\overline{F'_1O} \text{ donc}$$

$$\gamma = \frac{-\overline{F'_1O} - \overline{OA'}}{f'_1} = -\frac{\overline{F'_1O} + \overline{OA'}}{f'_1} = \frac{\overline{F'_1A'}}{f'_1} = -\frac{e}{f'_1}$$

$$P' = \frac{1}{f'_2} \times \left(-\frac{e}{f'_1}\right) = -\frac{e}{f'_1 f'_2}$$

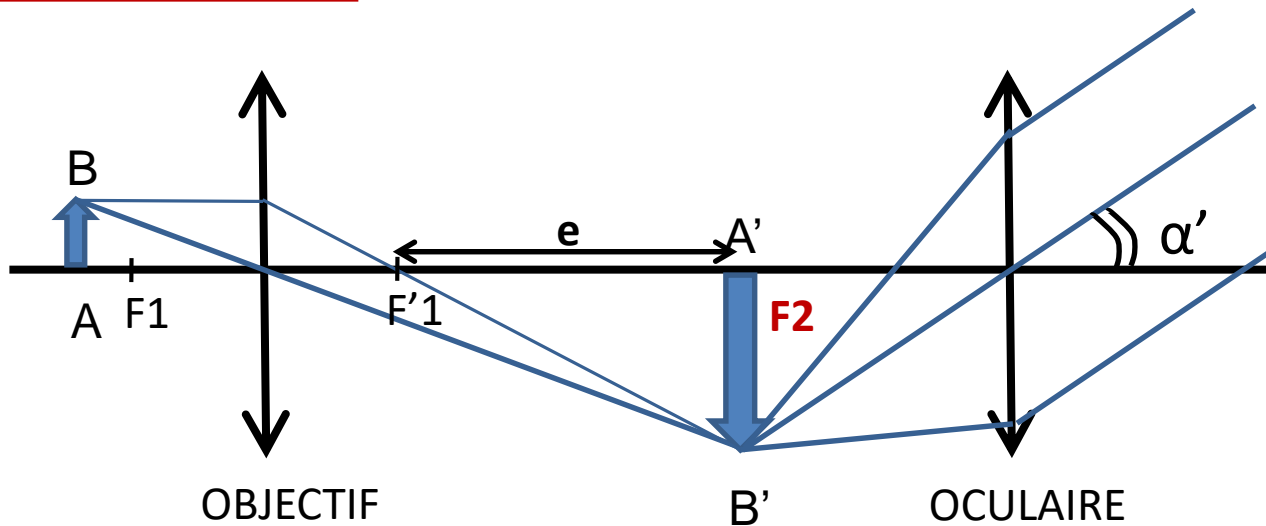
$$P' = -\frac{e}{f'_1 f'_2}$$

Remarque : le signe - n'est pas toujours indiqué, il vient du fait que l'image est inversé

APPLICATION

$$P' = - \frac{e}{f'_1 f'_2}$$

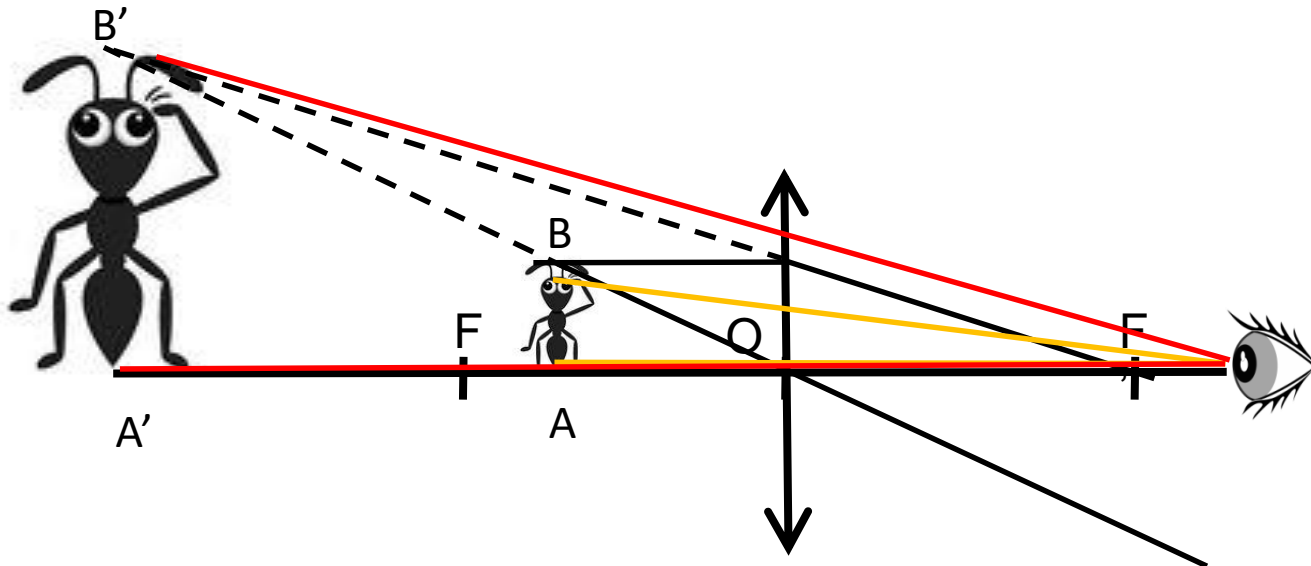
Soit un microscope avec $f'_1 = 5 \text{ cm}$ et $f'_2 = 5 \text{ cm}$. Quel valeur de e faut il pour avoir $P' = 120 \text{ m}^{-1}$?



Résultat : $e = 30 \text{ cm}$. Donc dispositif de 40 cm de long. Bien plus performant que la loupe : les lentilles ont des focales de plusieurs cm, elles sont donc plus grande et l'image est plus lumineuse pour la même puissance .

REMARQUE

La **grandeur pertinente** des **loupes** et **microscopes** est la **puissance** = l'angle divisé par la longueur, et non le grandissement seul

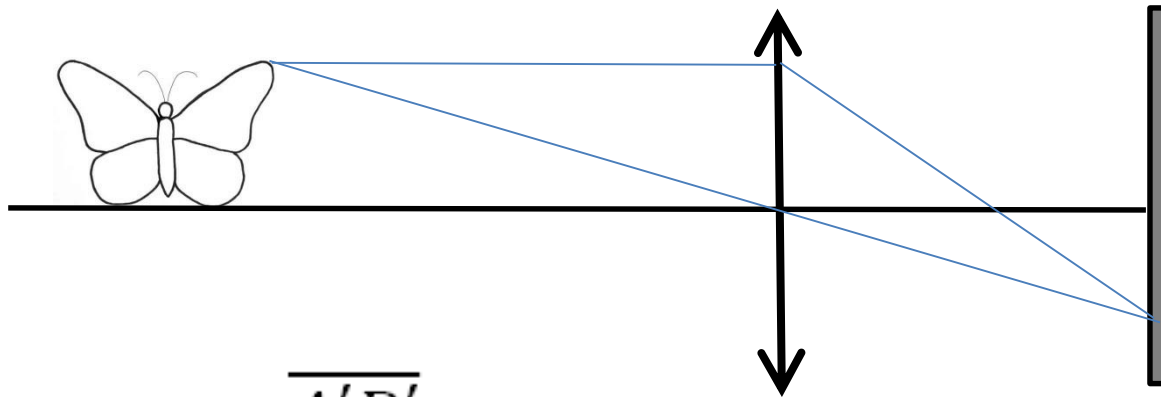


4. L'objectif photo

OBJECTIF PHOTO

Cette fois on veut obtenir une image réelle d'un objet réel

Grandissement de l'objectif : taille de l'image en fonction de celle de l'objet



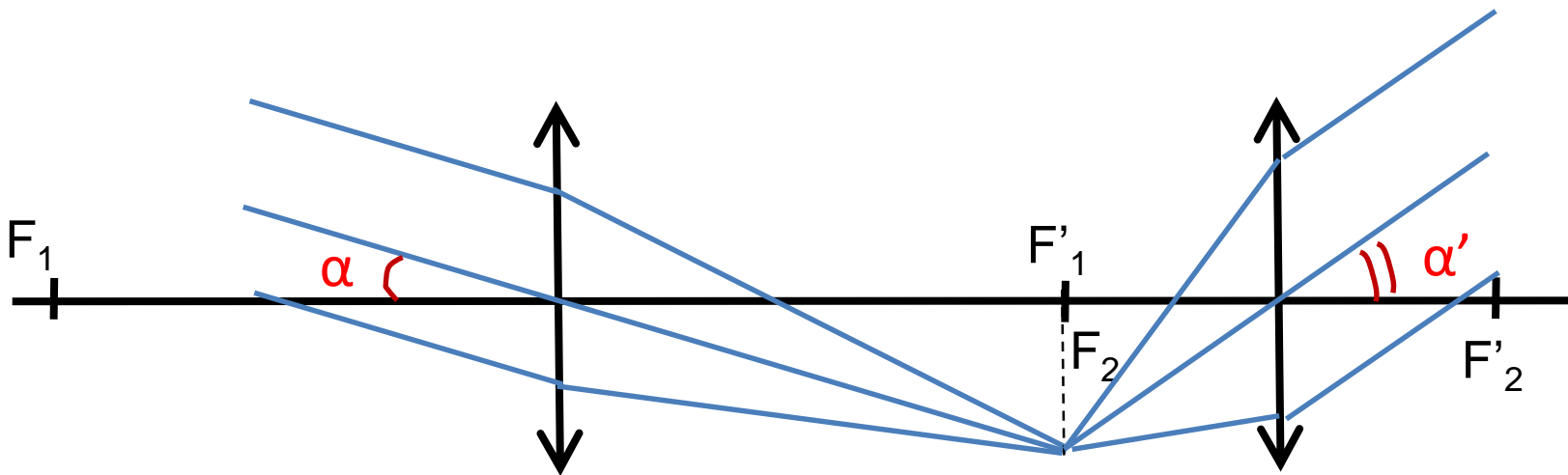
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

Ici la grandeur pertinente est le grandissement, puisqu'on a une image réelle (rayons reçus par le détecteur) La puissance ici n'est pas pertinente. A chaque appareil sa grandeur pertinente, pour la loupe la puissance est pertinente tandis que le grandissement ne l'est pas.

5. La lunette astronomique

LA LUNETTE ASTRONOMIQUE

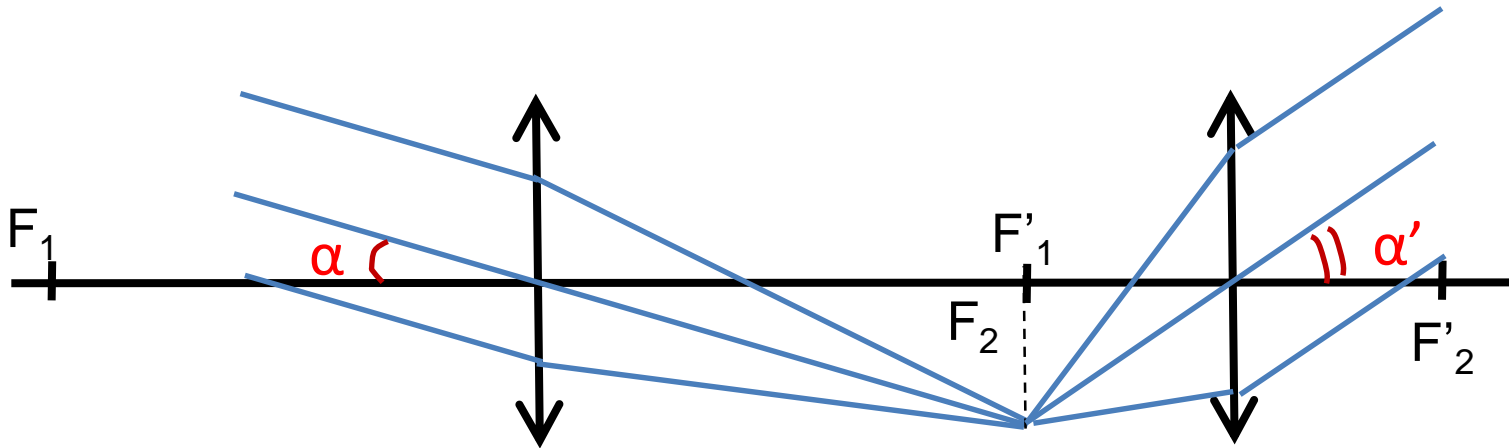
Encore deux lentilles convergentes, lunette optimisée pour observer des objets « à l'infini », donnant lieu à un faisceau de rayons incidents parallèles.



Pour optimiser l'image on choisit $F'_1 = F_2$

Remarque. Construction des rayons : objet ou image à l'infini ; le rayon passant par le centre n'est pas dévié, tous les autres sont parallèles à ce rayon

GROSSISSEMENT D'UNE LUNETTE ASTRONOMIQUE



La lunette astronomique fonctionne si $\alpha' \gg \alpha$

On définit le grossissement d'une lunette astronomique :

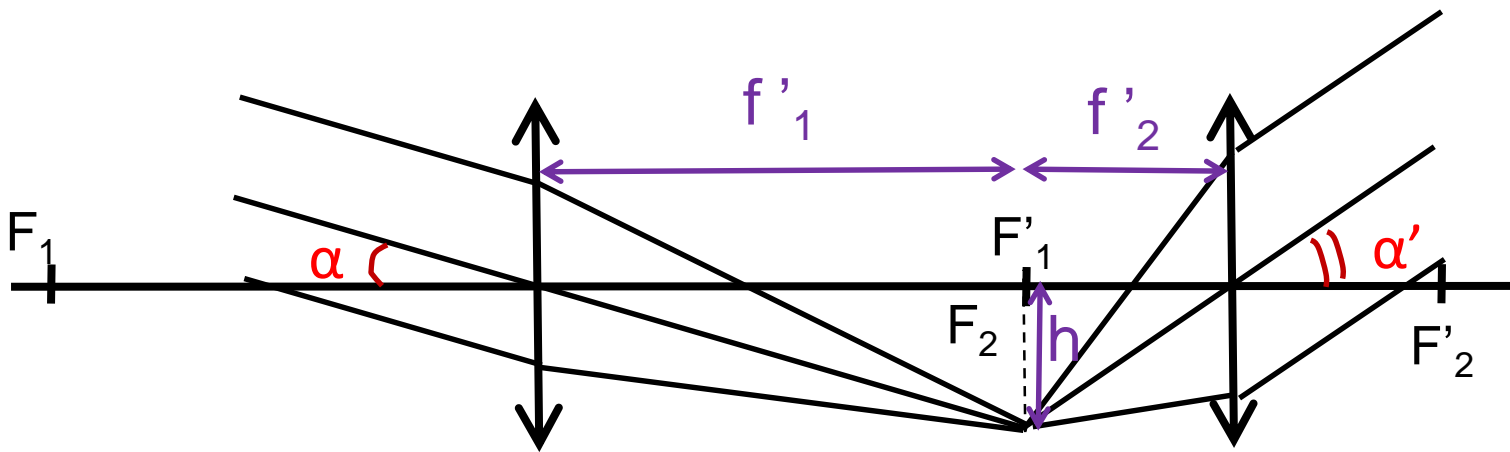
$$G \equiv \frac{\alpha'}{\alpha}$$

Cherchons maintenant une expression de G en fonction des distances focales

GROSSISSEMENT D'UNE LUNETTE ASTRONOMIQUE

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

Montrer que $G = f'_1 / f'_2$



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

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



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

REMARQUES

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

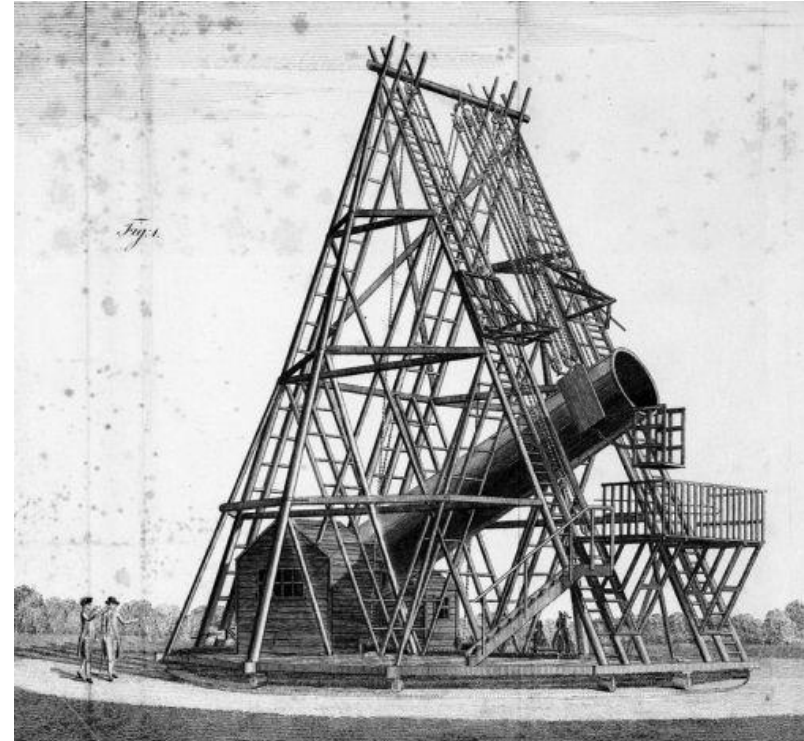
Pour avoir une bonne lunette :

- **f'1 grand** pour avoir une image intermédiaire grande

ET

- **f'2 petit** pour qu'on la regarde avec une loupe puissante

Télescope de Herschel 1798

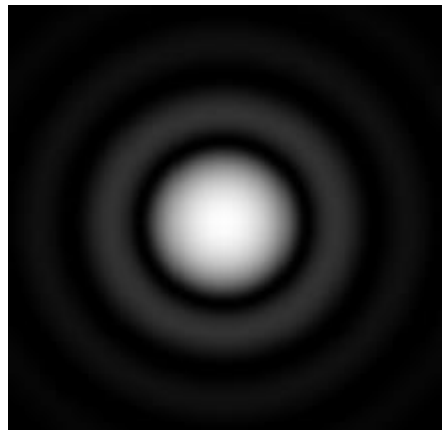


Ce type de système transforme des rayons parallèles en rayons parallèles : il est **afocal**. (si on envoie des rayons parallèles ils ne convergent nulle part)

LIMITE DE DIFFRACTION

Si on cherche à optimiser au maximum ces instruments, on est limité par la nature ondulatoire de la lumière.

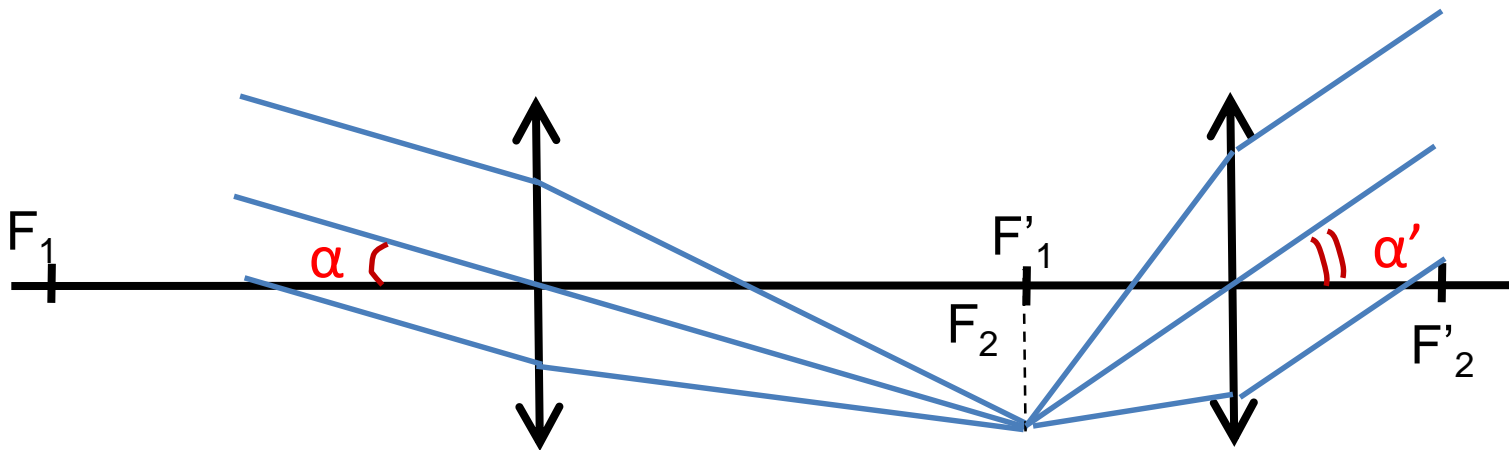
On n'arrive pas à focaliser en un seul point, mais sous la forme :



Tache d'Airy

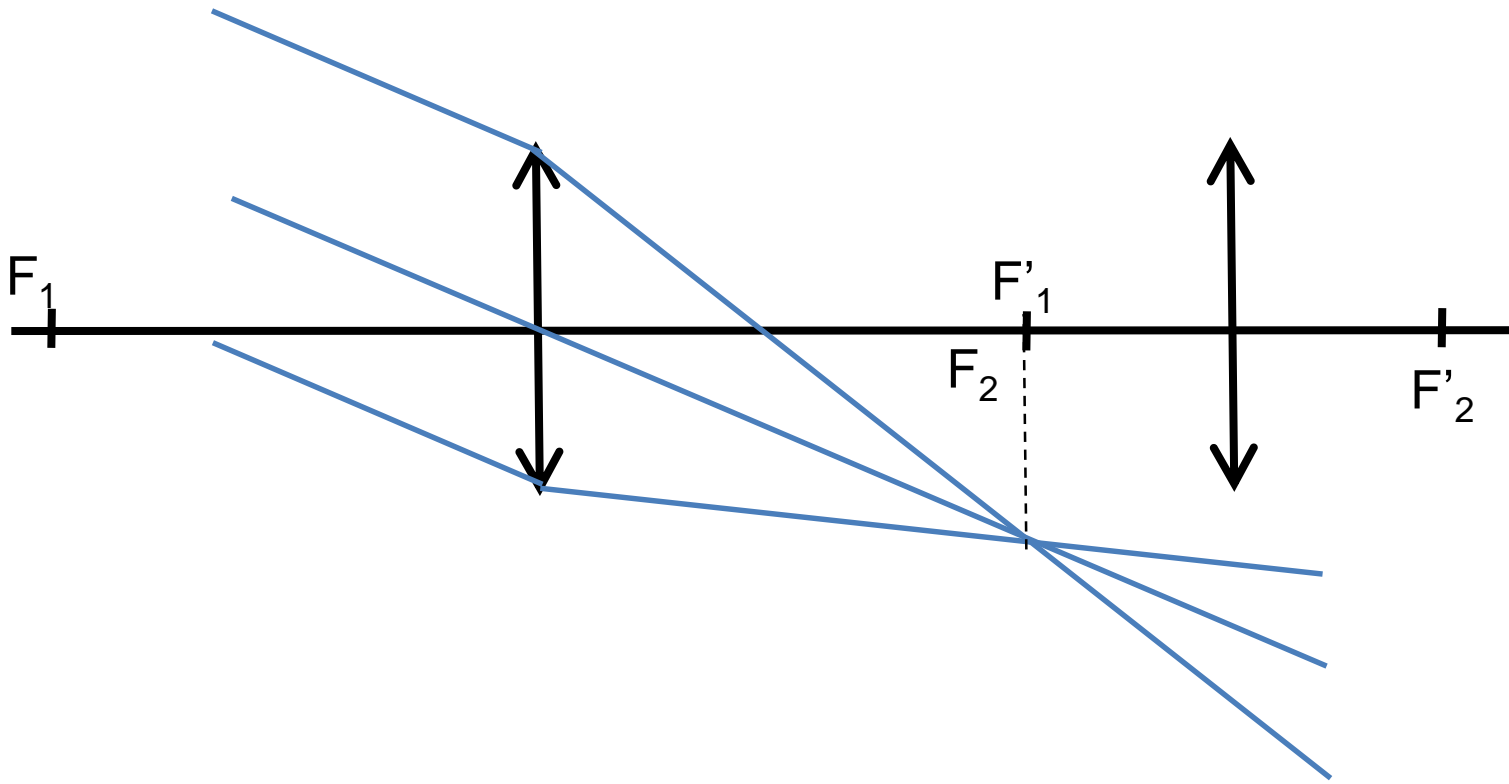
CHAMP DE VUE D'UN INSTRUMENT

Prenons la lunette astronomique



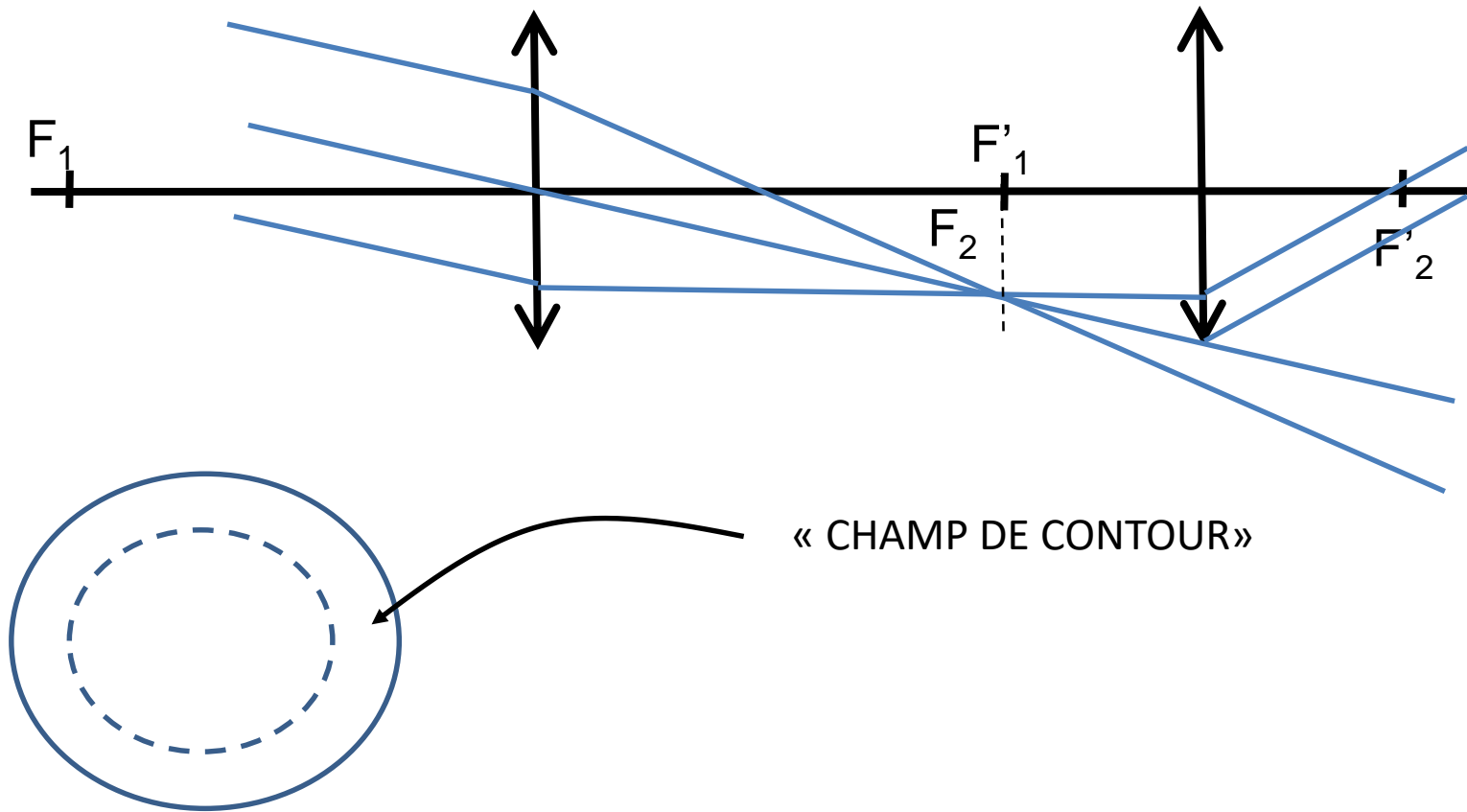
En réalité les rayons ne sont pas déviés à F'_1/F_2 ! C'est une construction géométrique pour déterminer dans quelle direction sortent les rayons arrivant sur la deuxième lentille.

CHAMP DE VUE D'UN INSTRUMENT

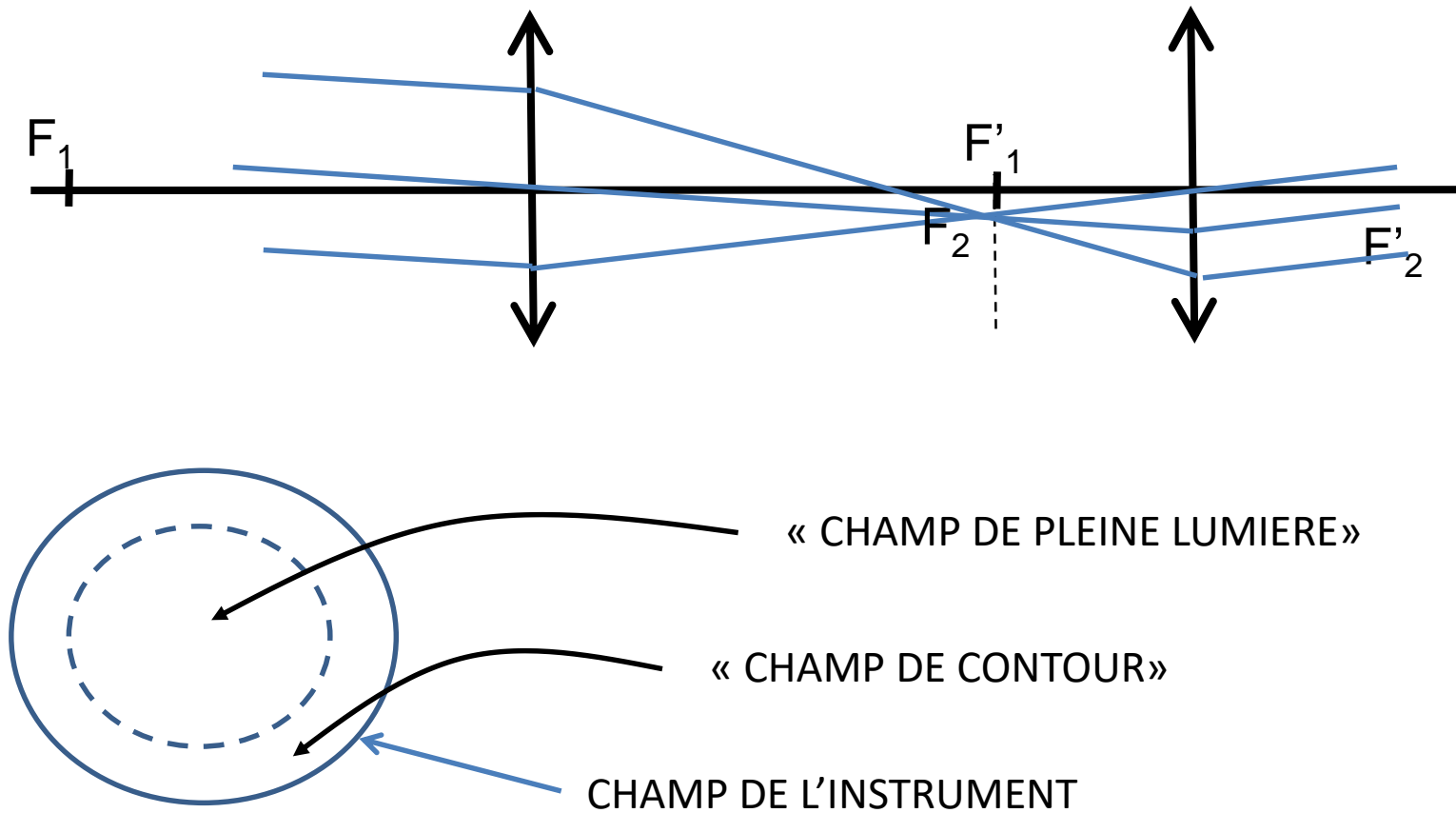


« HORS CHAMP »

CHAMP DE VUE D'UN INSTRUMENT

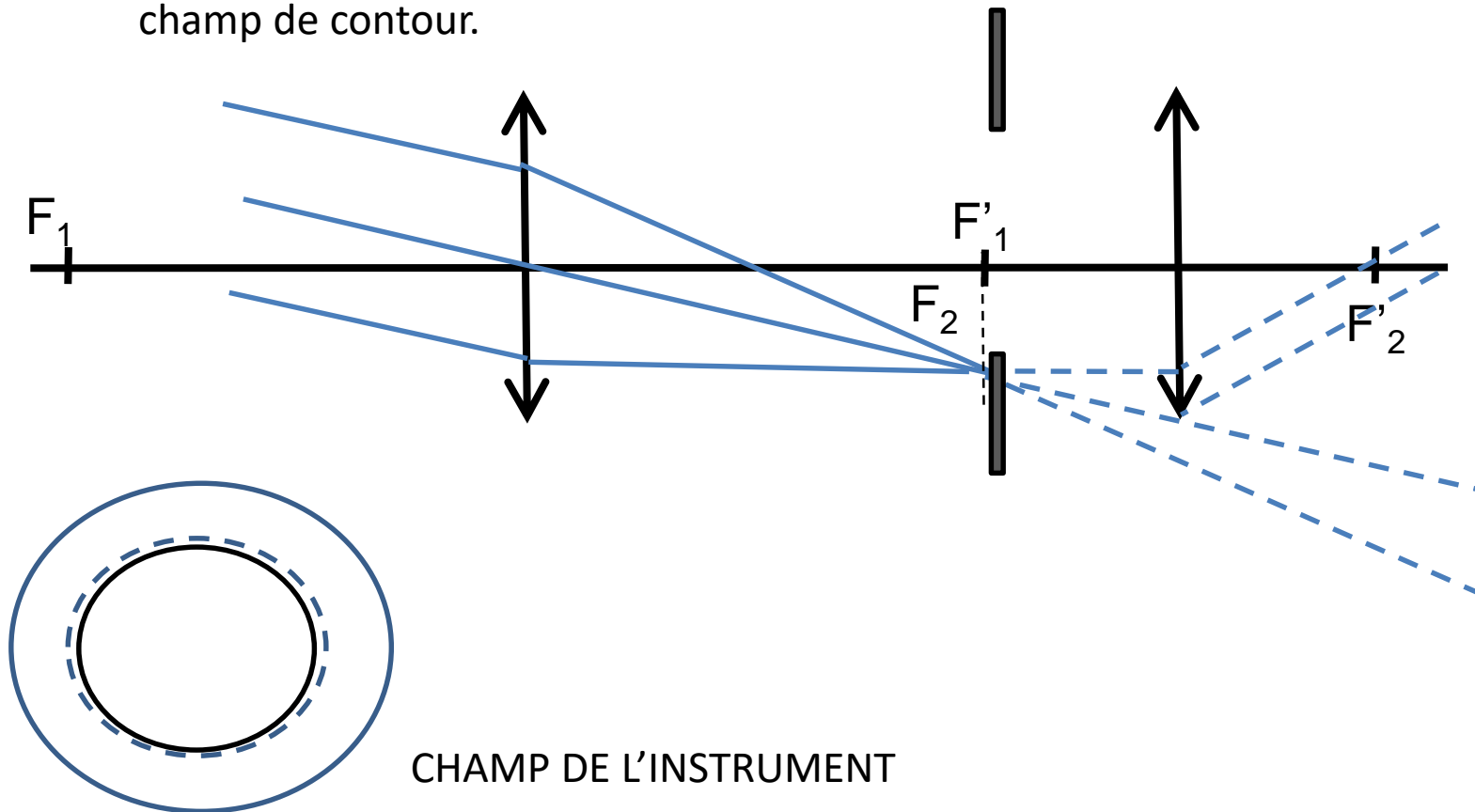


CHAMP DE VUE D'UN INSTRUMENT

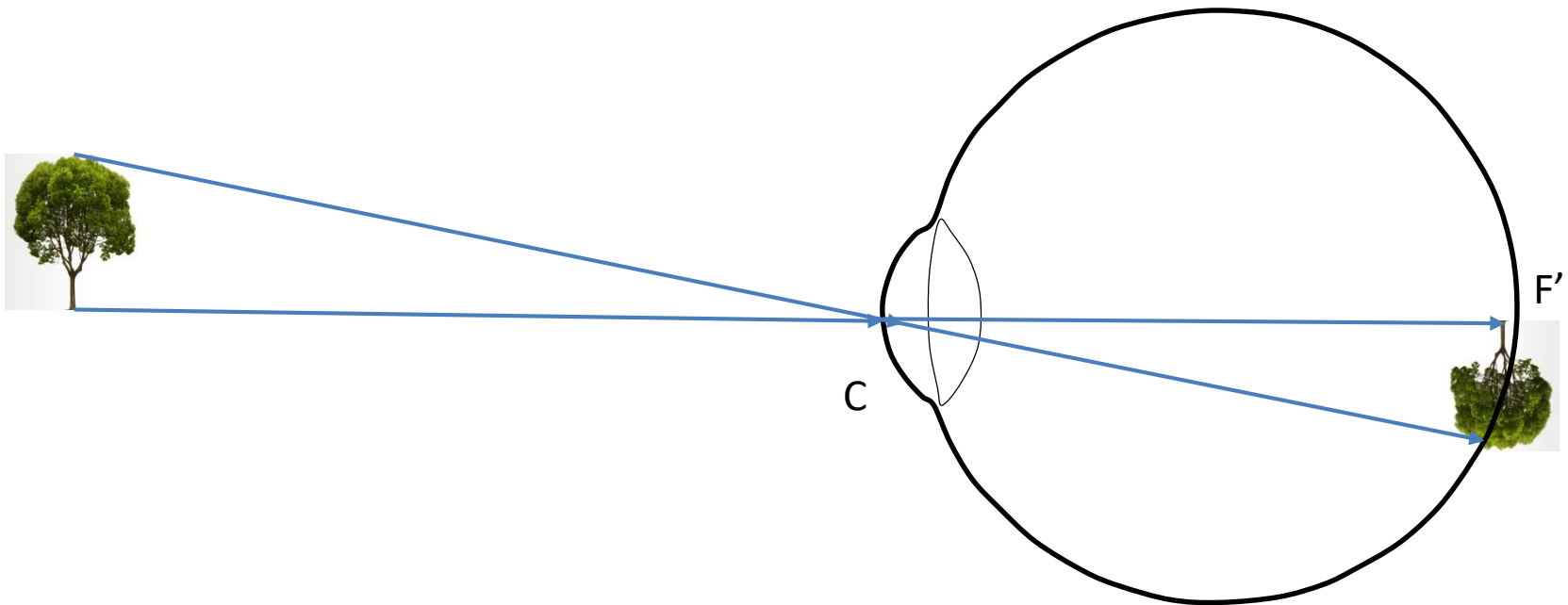


CHAMP DE VUE D'UN INSTRUMENT

Pour éviter la présence de 2 zones d'intensité différentes et avoir des analyses plus fiables, on met en général un diaphragme pour couper le champ de contour.



1. Comment peut on décrire un œil en terme de lentilles minces ?



Une lentille convergente avec une focale variable

2. Qu'est-ce que le punctum proximum et le punctum remotum et combien valent ils environ ?

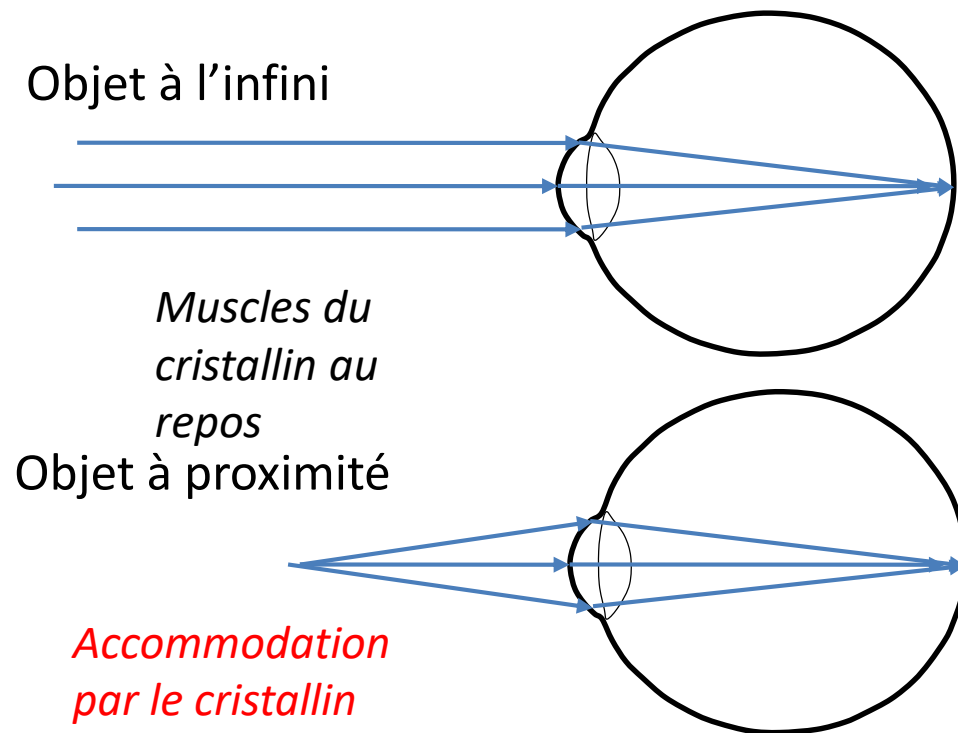
DEFINITIONS

Punctum proximum : le point le plus proche que l'on peut voir net correspondant au maximum de contraction du cristallin (Environ 10/20 cm)

Punctum remotum : le point le plus éloigné que l'on peut voir net
Pour un œil emmétrope, c'est l'infini

3. Où faut il que l'objet soit pour que l'œil qui le regarde soit au repos ?

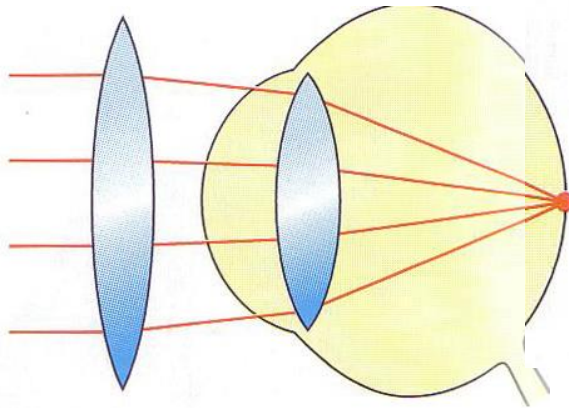
A l'infini (pour l'œil émétrope)



4. Quelle lunettes pour un hypermétrope ? Un myope ?

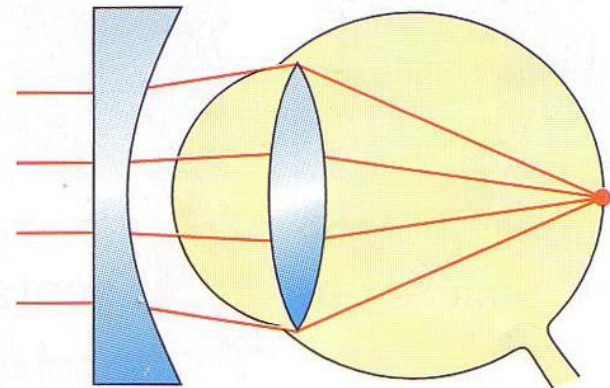
LUNETTES DE CORRECTION

Œil hypermétrope



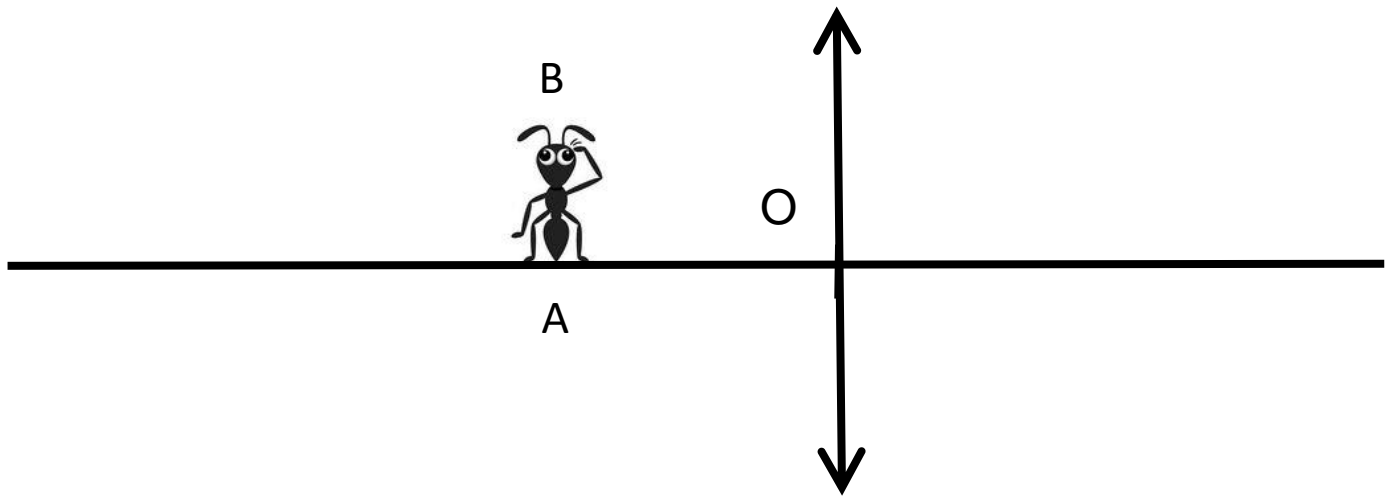
lentille convergente

Œil myope

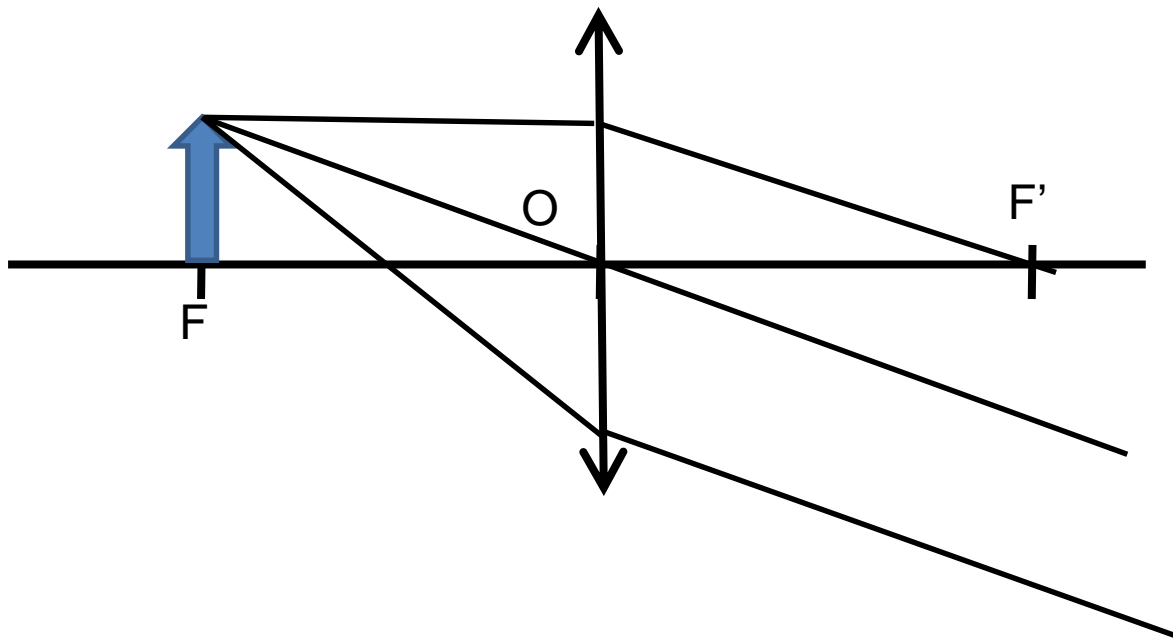


lentille divergente

5. De quoi est constitué une loupe ?

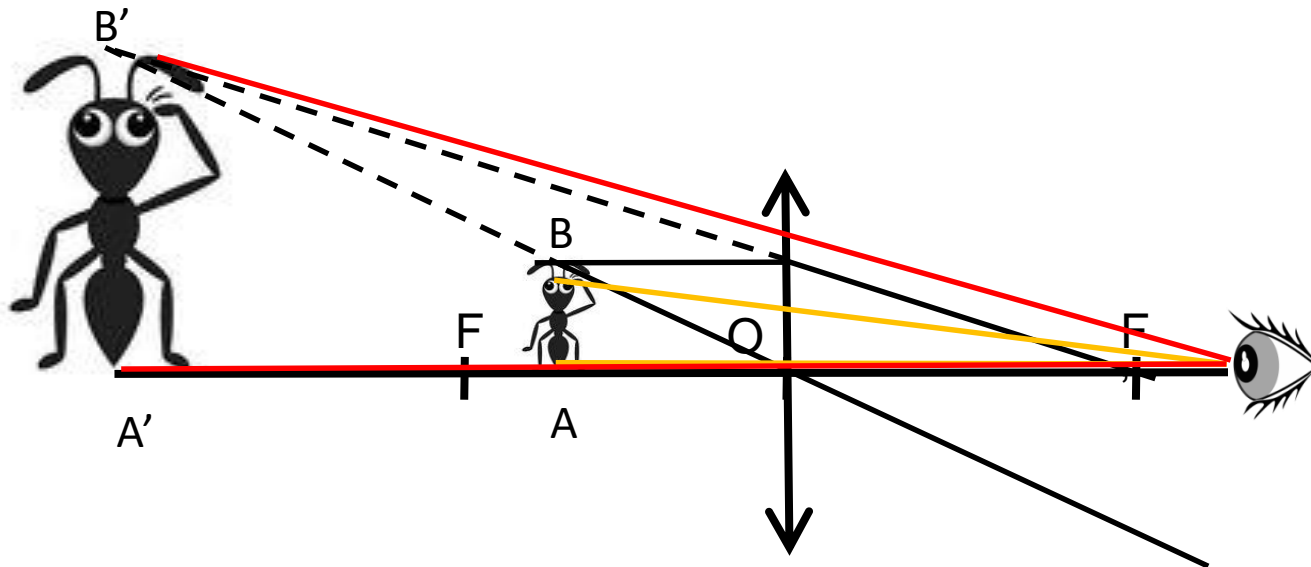


6. Où faut-il placer l'objet pour optimiser l'utilisation de la loupe ?



7. Quelle est la grandeur qui caractérise l'efficacité d'une loupe ?

La **grandeur pertinente** des **loupes** et **microscopes** est la **puissance** = l'angle divisé par la longueur, et non le grandissement seul



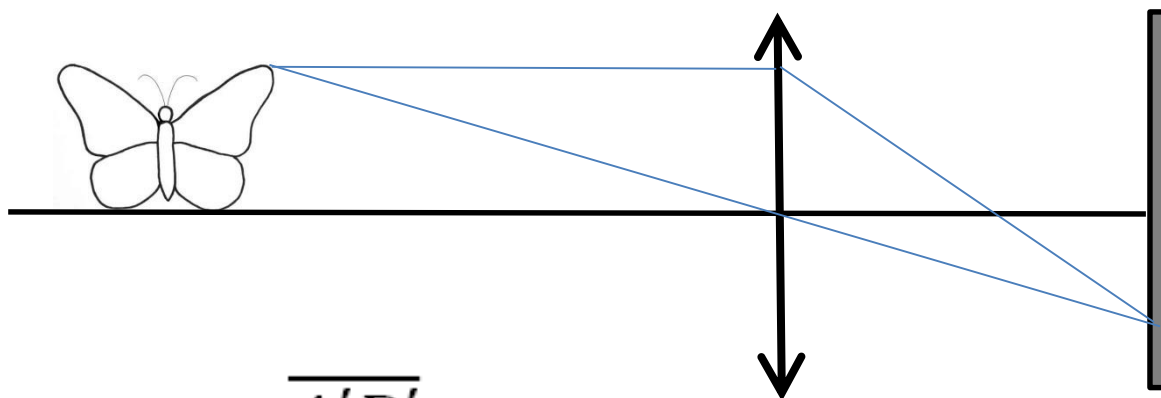
8. Qu'est-ce qui limite l'efficacité de la loupe ?

Puissance limitée par sa taille (rayon des dioptries) et donc luminosité

9. De quoi est constitué un appareil photo ?

Cette fois on veut obtenir une image réelle d'un objet réel

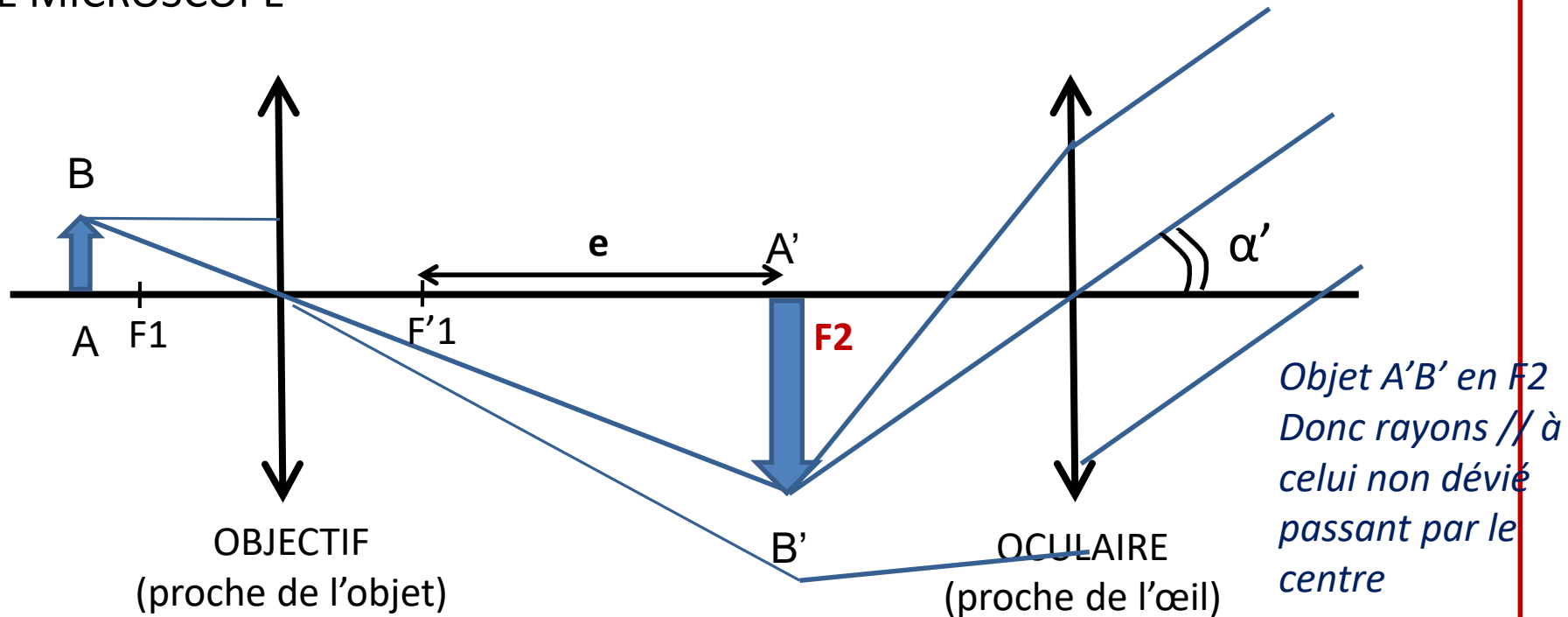
Grandissement de l'objectif : taille de l'image en fonction de celle de l'objet



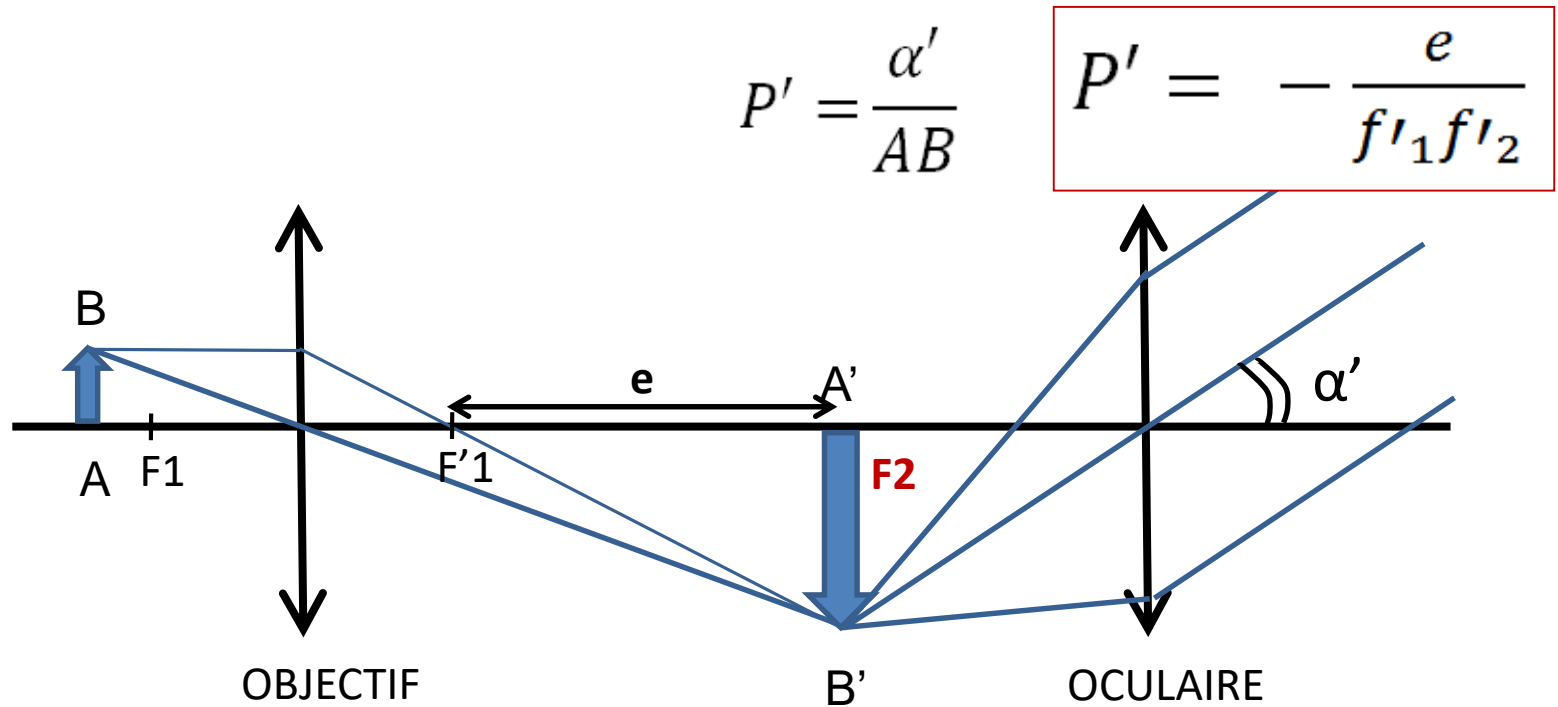
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

10. De quoi est constitué un microscope ?

LE MICROSCOPE



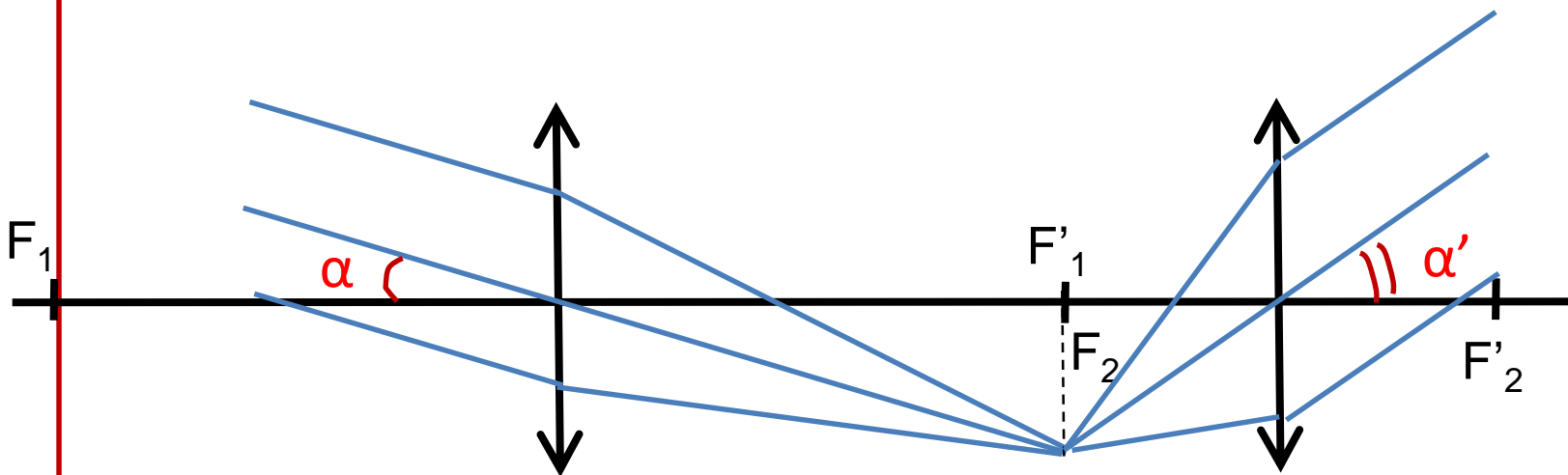
11. Qu'est-ce qui caractérise l'efficacité d'une loupe ?



Expression de P' en fonction des distances focales des lentilles ?

12. De quoi est constitué une lunette astronomique ?

Encore deux lentilles convergentes, lunette optimisée pour observer des objets « à l'infini », donnant lieu à un faisceau de rayons incidents parallèles.



Pour optimiser l'image on choisit $F'_1 = F_2$

13. Qu'est-ce qui caractérise une lunette astronomique ?

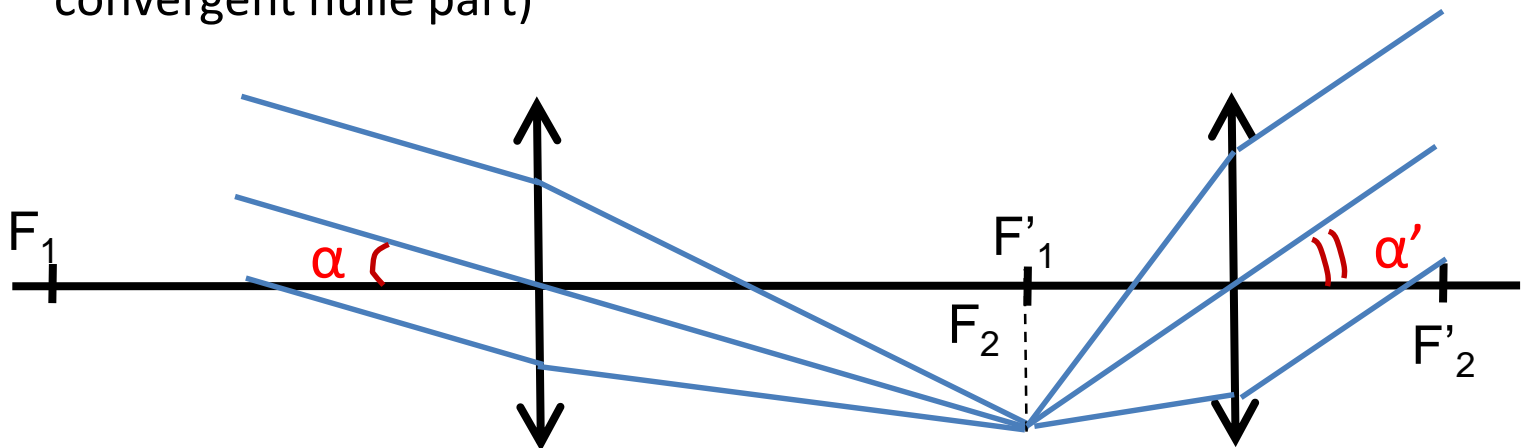
Grossissement

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

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

14. Que signifie AFOCAL ?

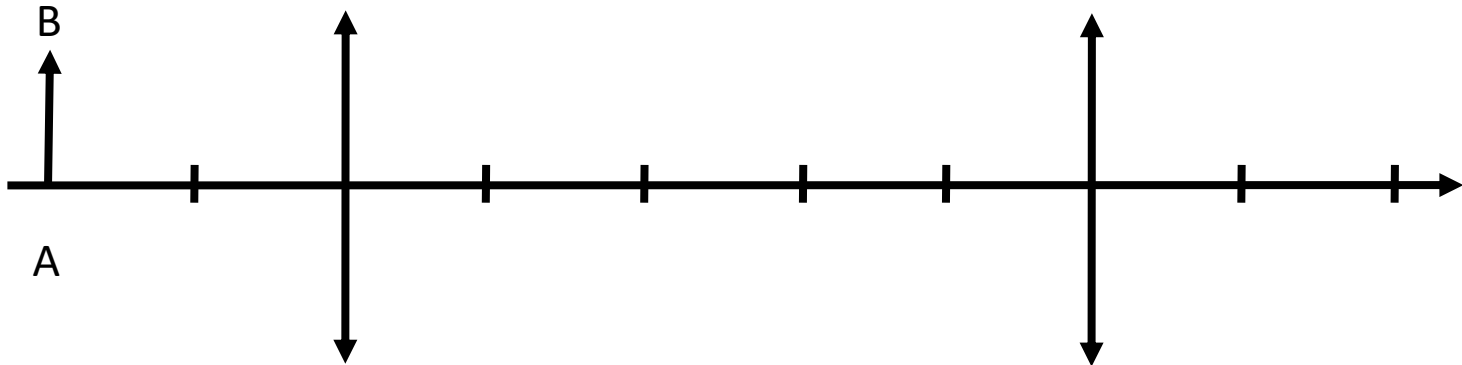
Ce type de système transforme des rayons parallèles en rayons parallèles : il est **afocal**. (si on envoie des rayons parallèles ils ne convergent nulle part)



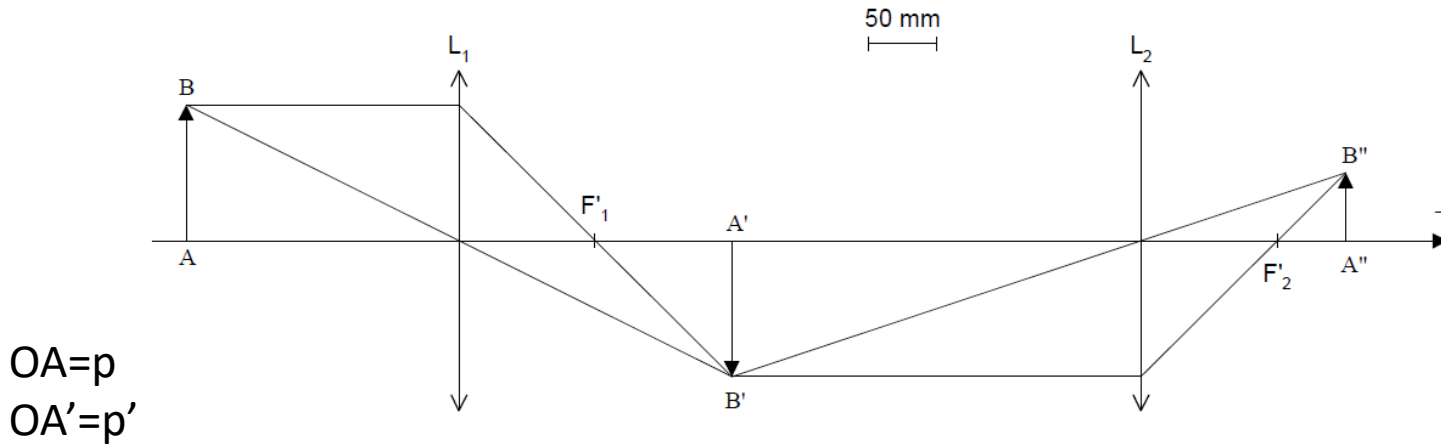
Association de lentilles

Exemples

Deux lentilles avec $f' = +100 \text{ mm}$ distantes de **500 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.