

# ŒIL ET INSTRUMENTS D'OPTIQUE

«La sagesse suprême est d'avoir des rêves assez grands pour ne pas les perdre du regard tandis qu'on les poursuit.»  
William Faulkner

## I – LES SOURCES DE LUMIERE, RAPPELS ET COMPLEMENTS

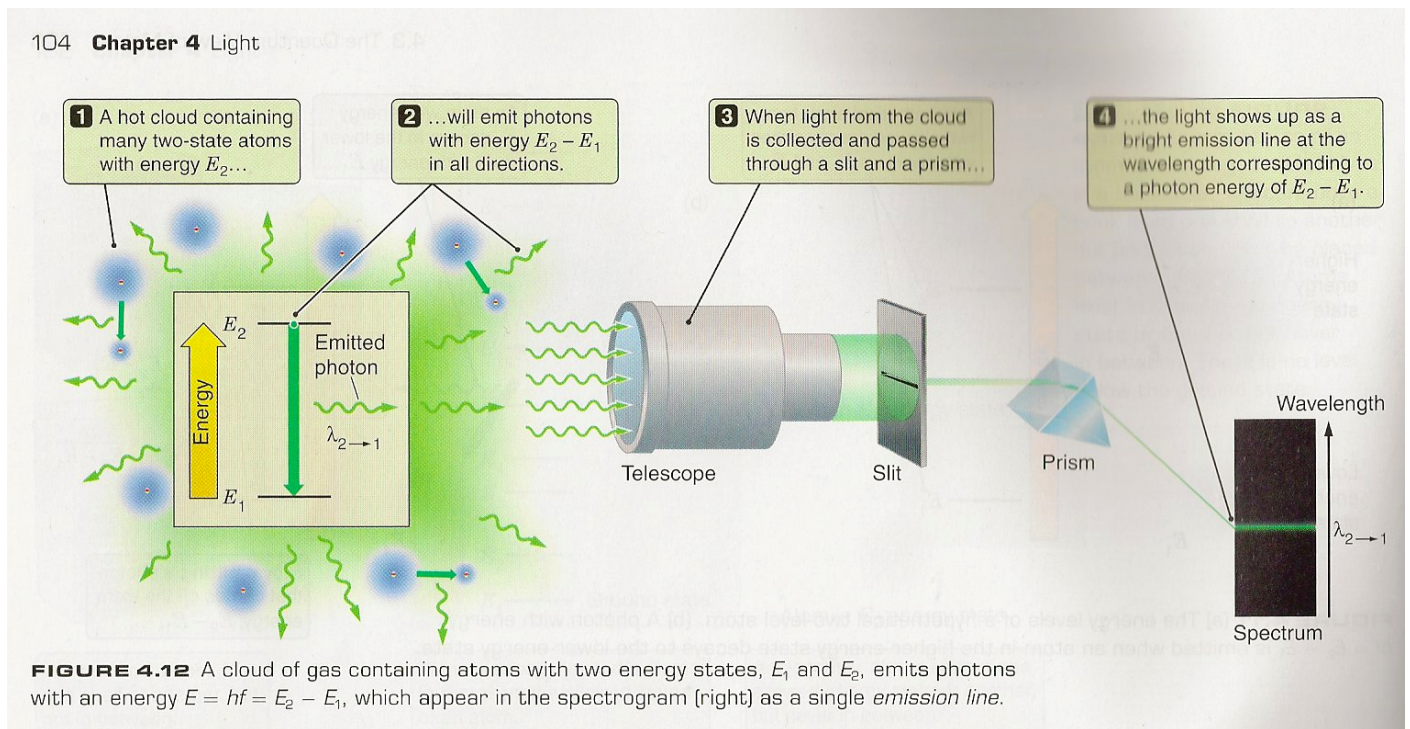
### 1.1 Sources à spectre de raies ou spectre discontinu

Ces sources émettent un **spectre discontinu** de radiations monochromatiques, il s'agit des lampes spectrales ou tubes à décharges.

Ces sources de lumière sont basées sur la désexcitation d'atomes (sous forme de gaz) préalablement excités par collisions ou décharges électriques. Ces atomes émettent un rayonnement composé d'ondes monochromatiques bien définies  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ . Ce phénomène met en évidence la quantification des niveaux d'énergie des électrons dans un atome (voir cours de chimie sur la structure électronique des atomes).

La décomposition de la lumière émise suite à la désexcitation d'atomes par un prisme ou un réseau donne un ensemble de raies caractéristiques de la composition de la source. On utilise en pratique les lampes au sodium (Na) et au mercure (Hg).

**Expérience:** Lampes (Na) et (Hg) + prisme à vision directe.





## 1.2 Sources à spectre continu, lumière « blanche »

Un corps chauffé à une température  $T$  (le soleil, une lampe à incandescence) émet un **spectre continu** comprenant toutes les longueurs d'onde  $\lambda$  possible. Bien sur, suivant la température  $T$  du corps en question, ce dernier émet principalement autour d'une longueur d'onde moyenne  $\lambda_m$  donnée par la relation de Wien :  $\lambda_m T = 2,987 \times 10^{-3}$  K.m. Par exemple, la température de surface du soleil étant d'environ 5400 K, ce dernier émet principalement autour de  $\lambda_m = 0,56 \mu\text{m}$ . Cette longueur d'onde se trouve dans le spectre visible par l'œil ( $0,4 \mu\text{m} - 0,8 \mu\text{m}$ ).

**Expérience:** Lanterne de projection + prisme à vision directe.

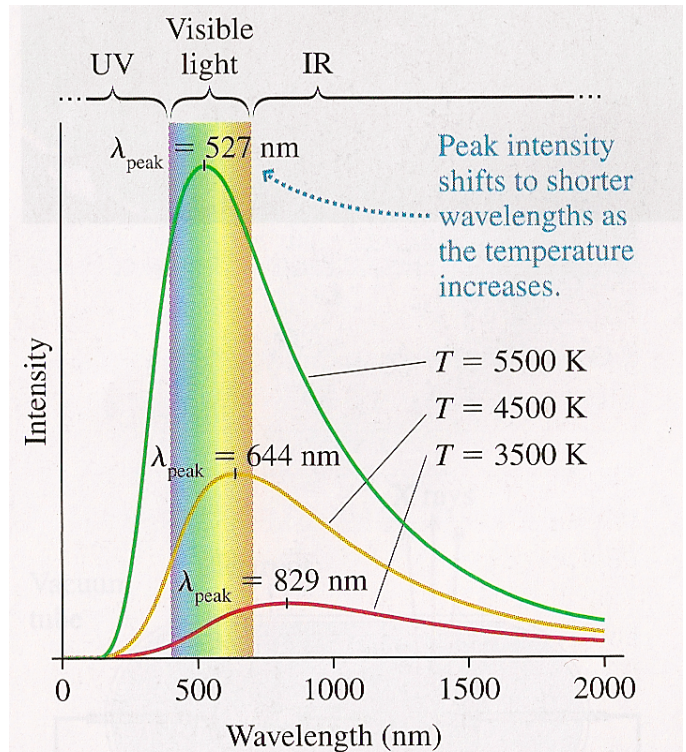


FIGURE 25.40 A thermal emission spectrum depends on the temperature.

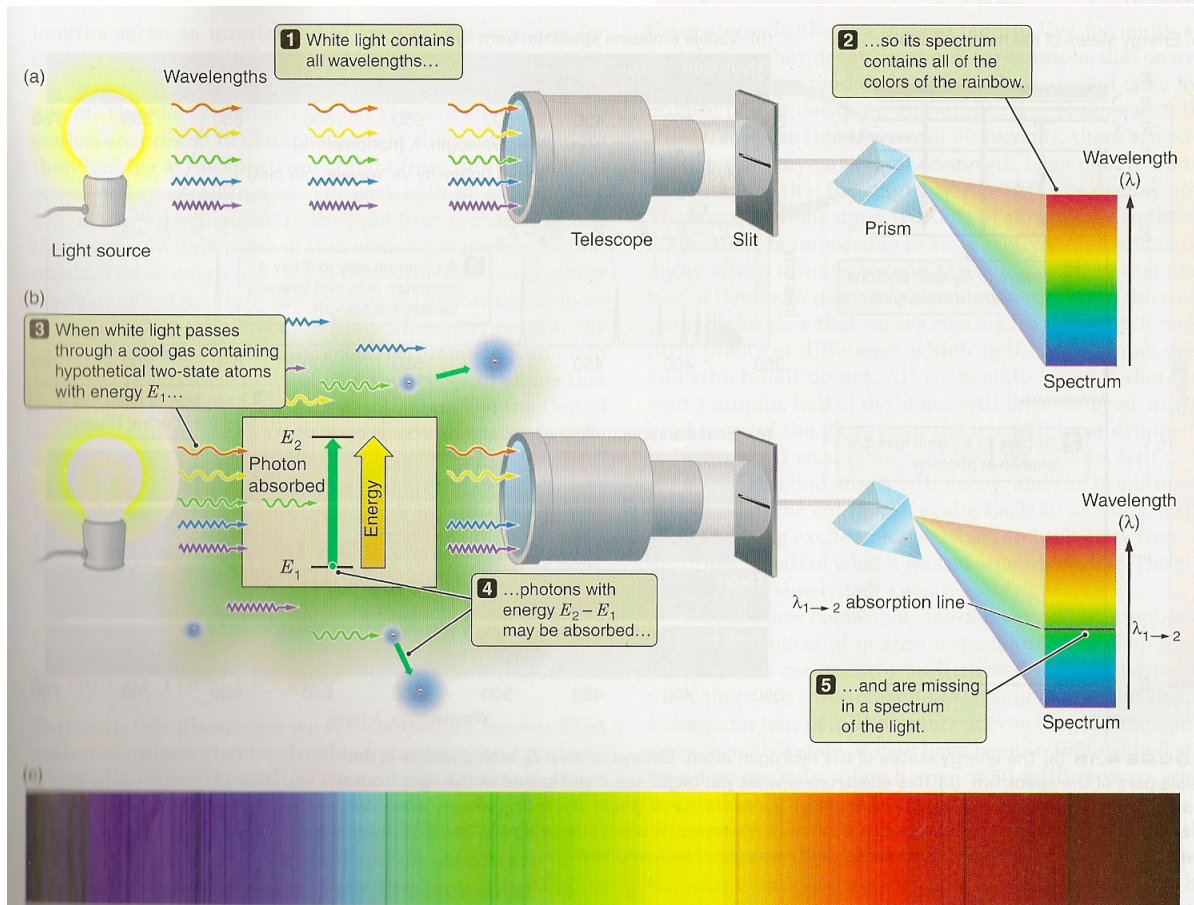


FIGURE 4.14 (a) When passed through a prism, white light produces a spectrum containing all colors. (b) When light of all colors passes through a cloud of hypothetical two-state atoms, photons with energy  $hf = E_2 - E_1$  may be absorbed, leading to the dark absorption line in the spectrum. (c) Absorption lines in the spectrum of a star.



### 1.3 LASER (Light Amplification by stimulated Emission of Radiation)

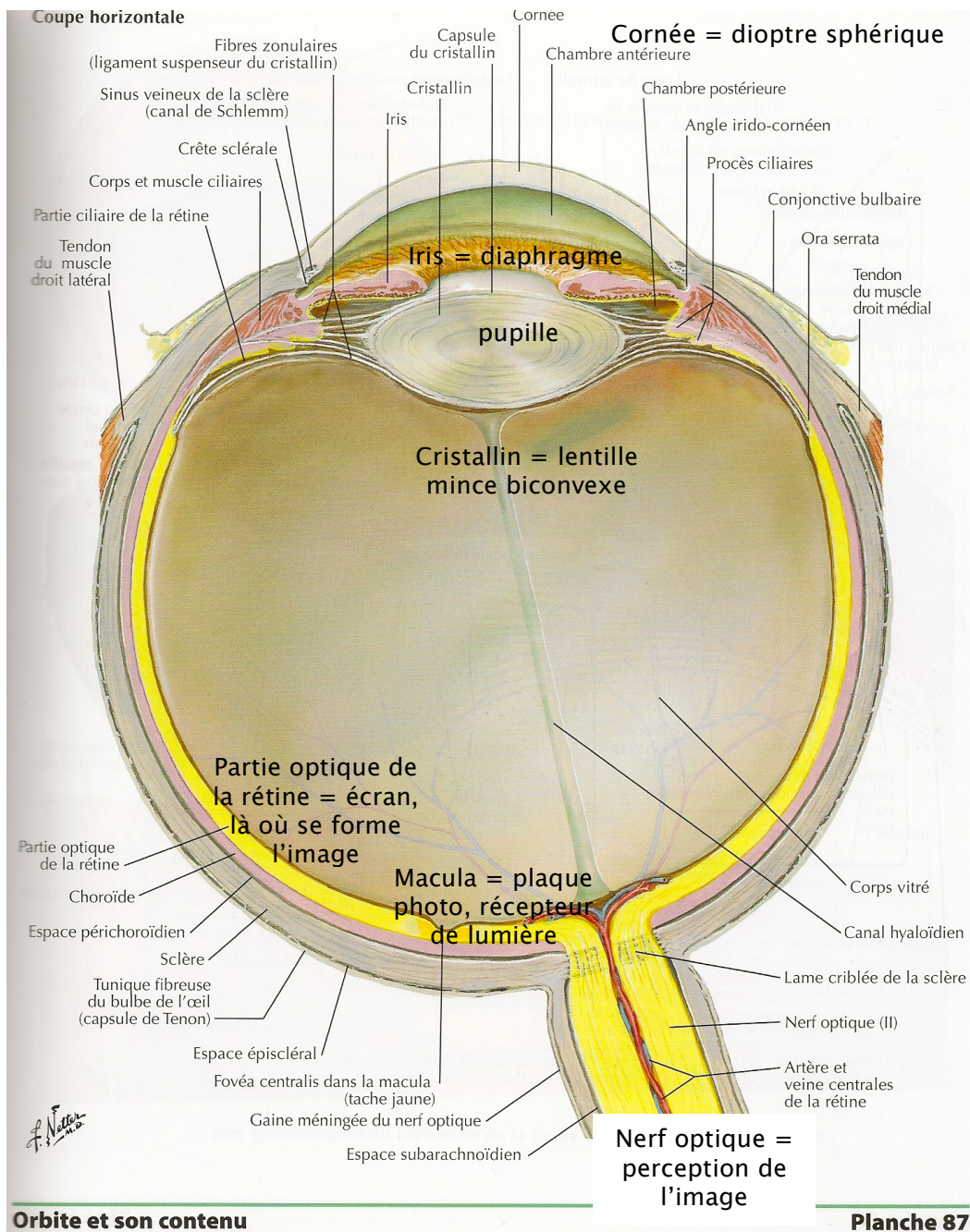
Une source laser produit un faisceau de lumière **quasi monochromatique** (une seule « couleur ») et **très fin** (dirigé dans une direction bien précise), on dit que le laser est une source très cohérente de lumière. Le laser hélium-néon que l'on utilise habituellement en TP émet à  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  (couleur rouge). **Expérience: LASER**

## II – MODELE DE L'ŒIL ET LOUPE

### 2.1 Modèle optique simple de l'œil

#### Bulbe oculaire

cornée + cristallin = lentille convergente  $f' = 50 \text{ mm}$  environ, c'est l'objectif de l'œil



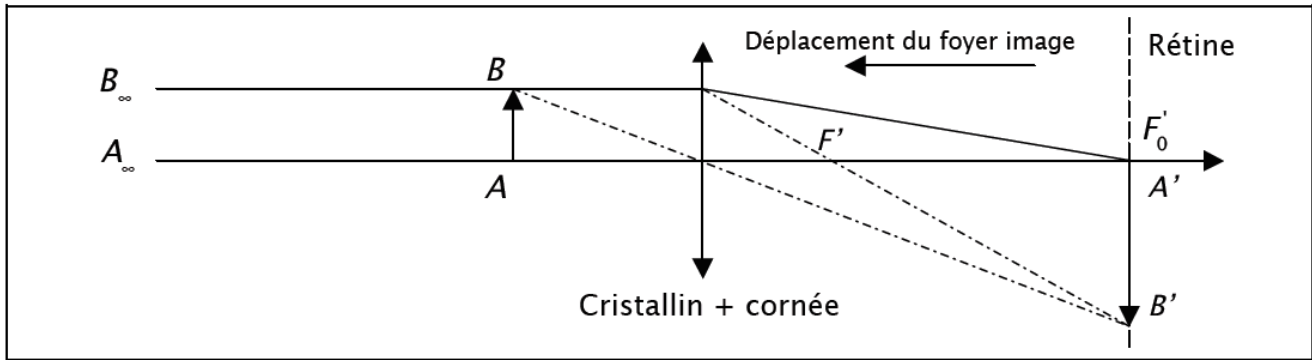
L'œil se comporte comme un appareil photo pour l'observation d'objet lumineux.



## 2.2 Le phénomène d'accommodation

### a) Le « Punctum Remotum » noté *PR*.

Un point objet à l'infini,  $A_\infty$ , est vu nettement par l'œil au repos donc le foyer  $F_0'$  de l'objectif est situé sur la rétine. Pour un œil « normal » le *PR* est à l'infini.

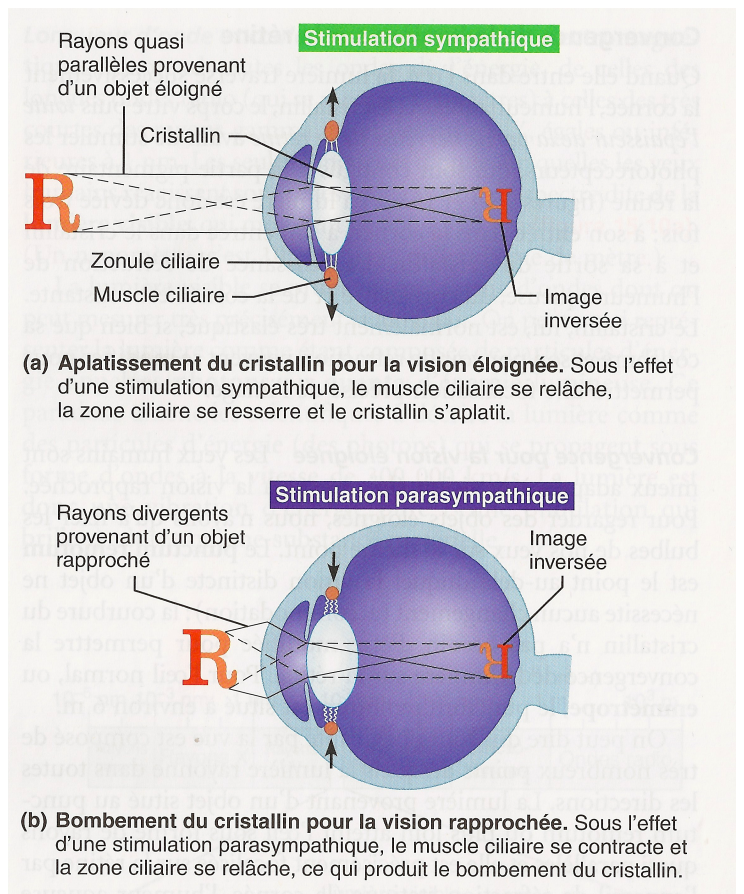


b) Pour voir un objet  $A$  à distance finie nette, l'œil doit ramener son foyer de  $F_0'$  à  $F'$ , le cristallin se bombe. La face antérieure de la lentille biconvexe associée se bombe, il s'agit du **phénomène d'accommodation**, on ressent un effort physiologique.

c) Le « Punctum Proximum » ou *PP* est le point objet vu nettement par l'œil avec une accommodation maximale. La distance minimale de vision nette pour un œil est notée  $d_m$ . Pour un œil standard  $d_m \approx 25 \text{ cm} = 1/4 \text{ m}$ . On choisit cette valeur pour la réalisation d'instruments d'optique. On place l'objet  $AB$  au *PP*.

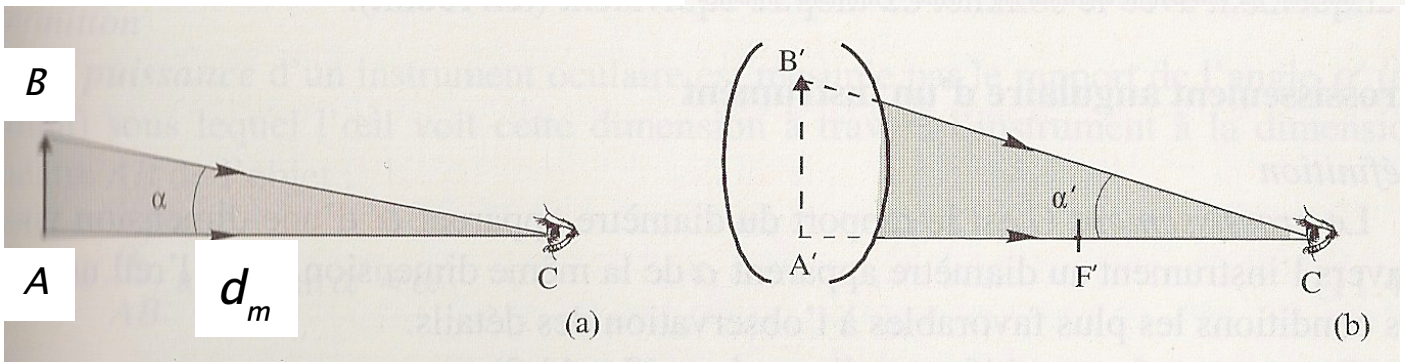
$$\tan \alpha \approx \alpha = \frac{AB}{d_m} = 4 AB$$

$\alpha =$  **diamètre apparent (ou diamètre angulaire)** sous lequel l'œil voit l'objet  $AB$ .



(a) **Aplatissement du cristallin pour la vision éloignée.** Sous l'effet d'une stimulation sympathique, le muscle ciliaire se relâche, la zone ciliaire se resserre et le cristallin s'aplatit.

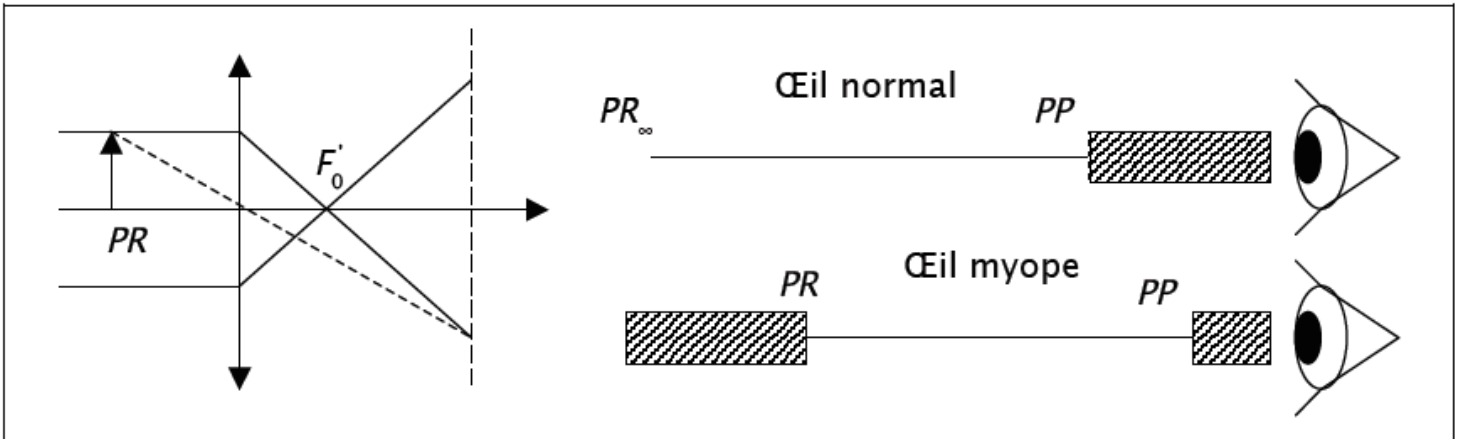
(b) **Bombement du cristallin pour la vision rapprochée.** Sous l'effet d'une stimulation parasympathique, le muscle ciliaire se contracte et la zone ciliaire se relâche, ce qui produit le bombement du cristallin.





#### **d) Défaut de l'œil :**

**La myopie** est caractérisée, pour la plupart des cas, par un bulbe trop long et parfois par un cristallin trop convergent ; l'œil ne voit pas de loin (c'est-à-dire à l'infini) mais voit de plus près. Son  $PR$  est maintenant à distance finie. Pour une image située au  $PR$ , l'œil n'accommode pas, l'image est nette sur la rétine. Pour la myopie, les lunettes correctrices sont donc divergentes.



**L'hypermétropie** est caractérisée pour la plupart des cas par un bulbe trop court et parfois par un cristallin pas assez convergent, l'œil doit accommoder même pour voir à l'infini. Le  $PP$  est plus éloigné que l'œil normal. La lentille correctrice est convergente.

**La presbytie** est liée au vieillissement de l'œil qui perd sa faculté d'accommodation. L'œil ne voit bien que de loin c'est-à-dire vers son  $PR$ . Il voit mal les objets proches. Cela nécessite l'utilisation de plusieurs lentilles correctrices suivant la distance objet-œil. On utilise des verres à deux ou trois foyers (ou verres à foyers progressifs).

**L'astigmatisme** est lié à un défaut de symétrie de révolution de l'œil, il y a des aberrations géométriques. La lentille correctrice n'est pas sphérique.

#### **Exercice d'application : Œil myope**

Un œil myope a son  $PR$  situé à 17 cm et son  $PP$  à 12 cm.

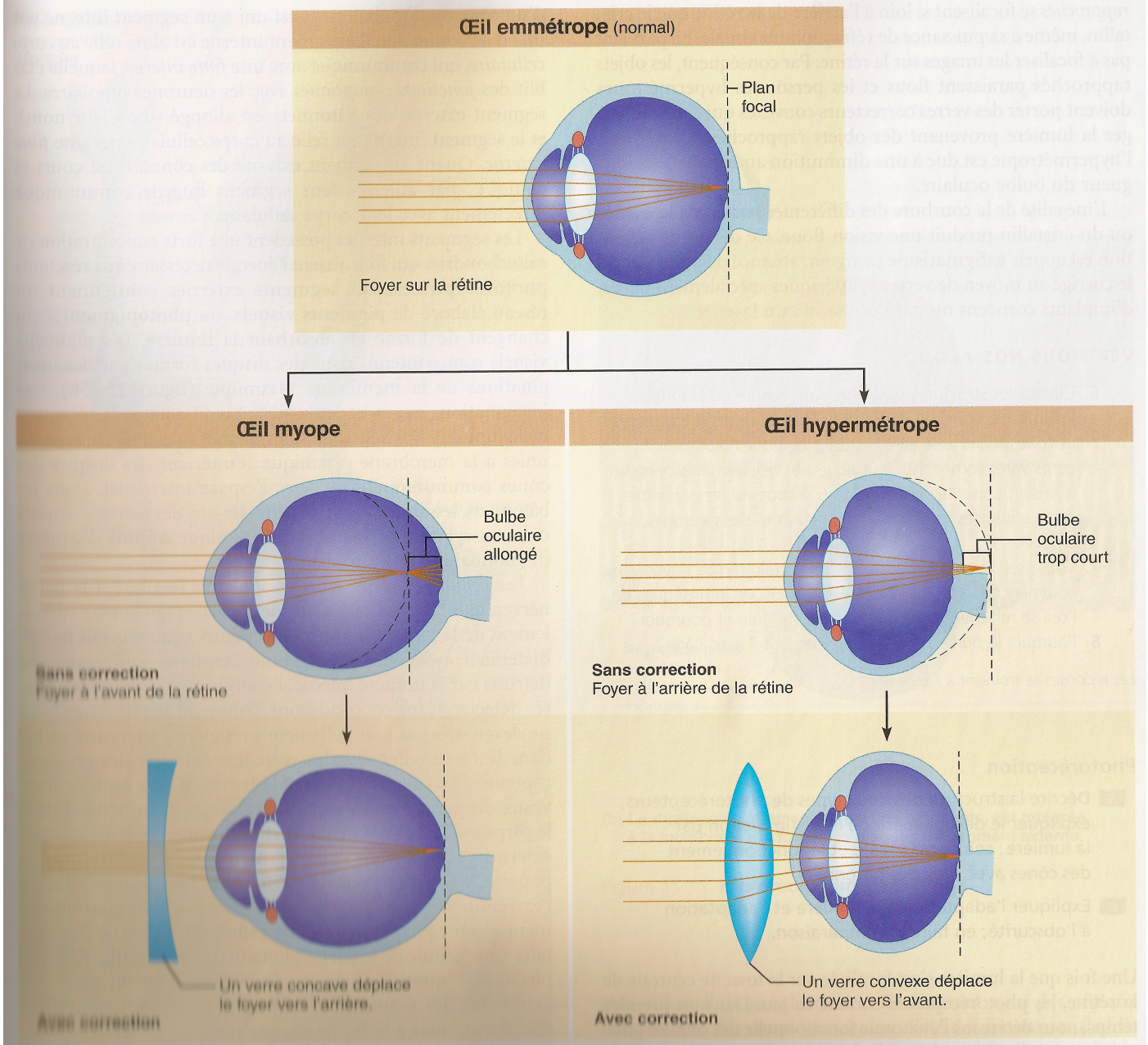
Quelle est la puissance de la lentille correctrice nécessaire pour permettre à cet œil de voir un objet très éloigné correctement ? Après correction, à quelle distance se situe son  $PR$  ?

On suppose que la lentille se trouve à 2 cm de l'œil .





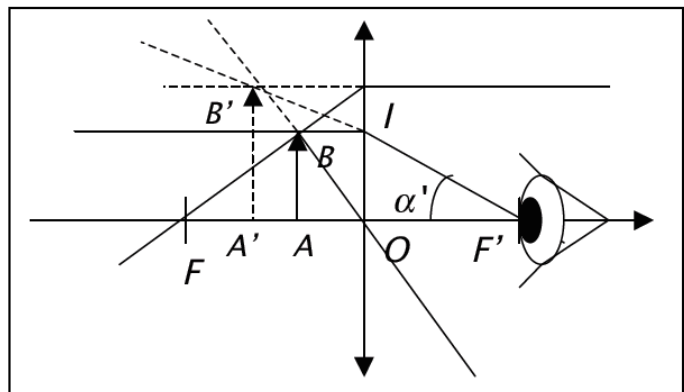


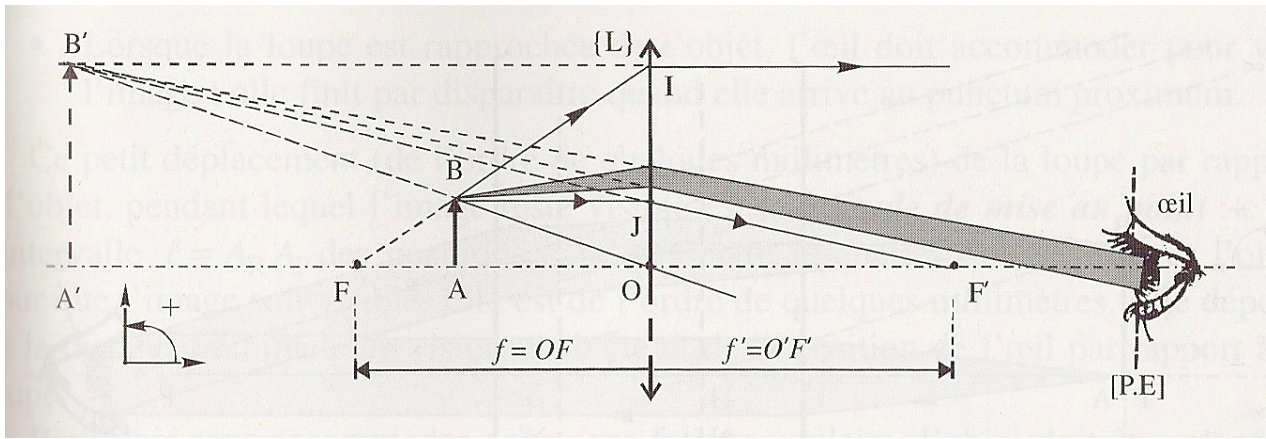


### 2.3 La loupe

#### a) Description

Un objet  $AB$  est placé entre  $F$  et  $O$ . On a une image virtuelle et agrandie. On place généralement l'œil en  $F'$  pour que l'image soit toujours vue sous le même diamètre angulaire  $\alpha'$  quelle que soit la position de l'objet entre  $F$  et  $O$ .





**b) grandissement**

On a une image **virtuelle, agrandie et droite**  $\gamma > 1$  et  $\overline{OA'} < 0$ . On peut justifier ce résultat à partir des formules de Newton du grandissement (voir cours sur les lentilles).

**c) Puissance P**

Par définition :



$$P \text{ (en dioptrie notée } \delta) \equiv \frac{\alpha' \text{ (rad)}}{AB \text{ (m)}}$$

Si on place l'œil au foyer image  $F'$  :  $P = \frac{\alpha'}{AB} = \frac{\alpha'}{OI} = \frac{OI}{OI} \frac{1}{OF'} = \frac{1}{f'} = V$  (vergence). Dans ce cas,  $P = V$  et ne dépend pas de la taille de l'objet, c'est une grandeur intrinsèque à la loupe.

**d) Pouvoir séparateur**

Pour l'œil, la « taille » d'un objet correspond à son diamètre angulaire. Le diamètre angulaire minimum pour que l'œil puisse distinguer un objet (ou séparer deux objets distincts) est  $\alpha_m \approx 5 \cdot 10^{-4}$  rad. Une loupe est utile si  $\alpha' \geq \alpha_m$ , on peut ainsi voir des objets que l'œil seul ne pourrait distinguer. Avec une loupe, le plus petit objet que l'on puisse voir est tel que :

$$AB_m = \frac{\alpha_m}{P} = \alpha_m f'$$

A.N : loupe de 50  $\delta$ ,  $AB_m = 0.01$  mm.

**e) Grossissement**



$$G \equiv \frac{\alpha'}{\alpha} \text{ (définition du grossissement, sans dimension)}$$

Avec la loupe

Vision nette à l'œil nu à la distance minimale  $d_m$

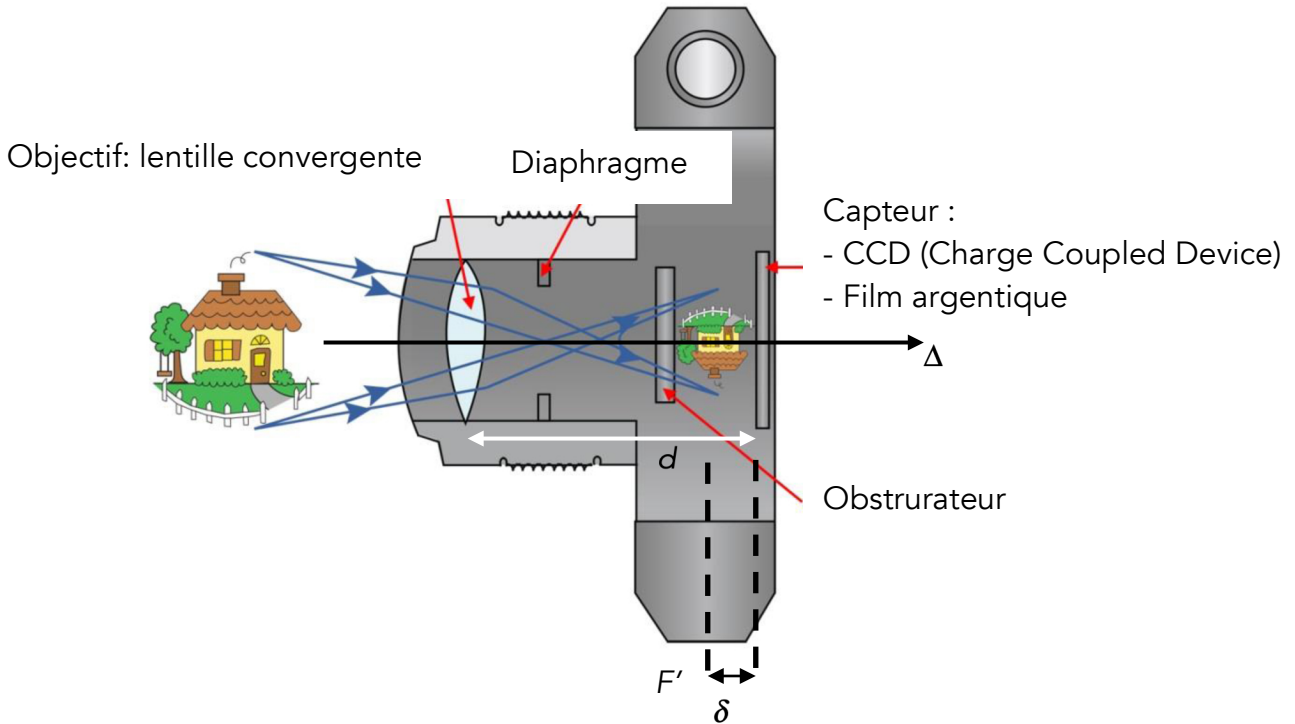
On a :  $\alpha = \frac{AB}{d_m} \Rightarrow G = P d_m$ . On définit le grossissement commercial par  $G_c = P \left( \frac{1}{4} \right) = \frac{1}{4f' \text{ (m)}}$  ce qui correspond à l'objet placé à la distance  $d_m$  sans loupe. A.N :  $f' = 2.5$  cm,  $G_c = 10$ .



# III – L'APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE

## 3.1 Constitution

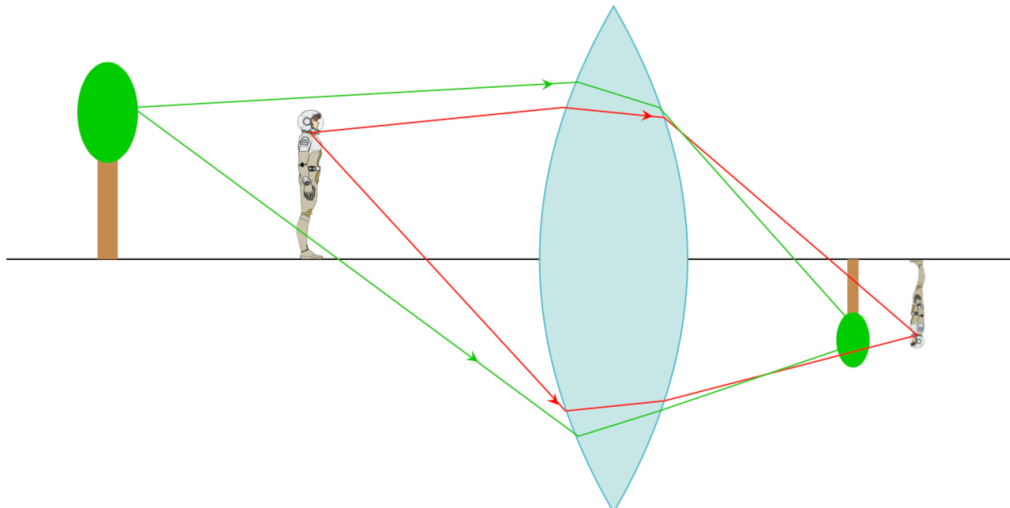
L'appareil photographique est un instrument d'optique complexe comprenant plusieurs lentilles, miroirs et diaphragmes. Cependant, on peut comprendre les grands principes de la photographie à l'aide de la modélisation simplificatrice de la figure ci-dessous qui en permet une description dans le cadre de l'optique géométrique.



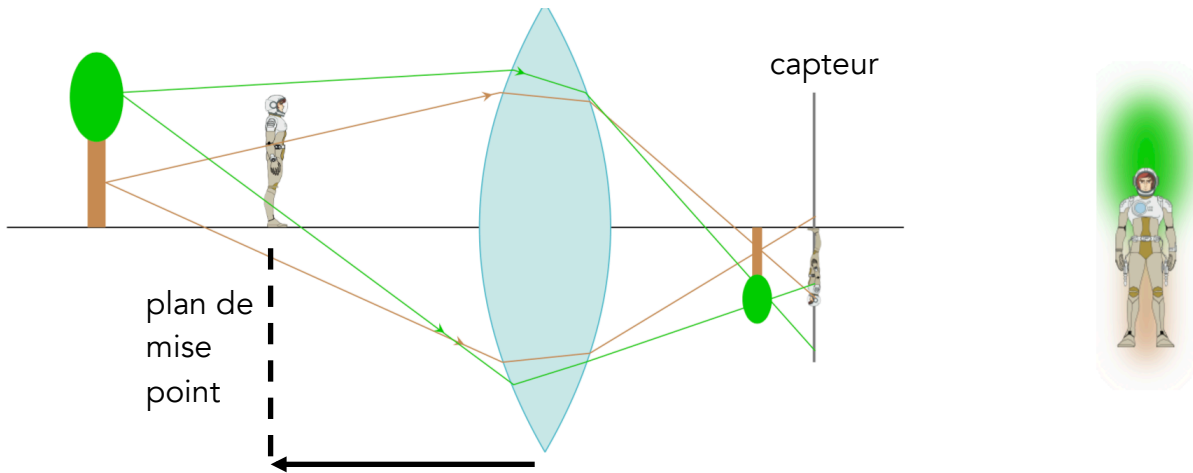
L'appareil photographique ainsi modélisé est un système centré d'axe optique  $\Delta$ . Notons que  $d$  la distance objectif-capteur varie entre  $f'$  (mise au point à l'infini) et  $f'+\delta$  (mise au point à distance finie minimale). Cette distance  $\delta$  est appelée **tirage de l'appareil photographique**. Le réglage de  $d$  correspond au réglage de mise au point.

## 3.2 La mise au point

C'est elle qui détermine ce qui sera net sur la photo finale et ce qui ne le sera pas. Prenons l'exemple d'une scène avec un homme situé devant un arbre :



Je dois choisir qui je veux photographier. Si je choisis l'homme, je dois placer mon capteur au niveau de l'image de l'homme, les points objets de l'arbre donneront des taches images, ce qui donnera un arrière plan composé d'un arbre flou.



Il faut agir sur la position du capteur par rapport à l'objectif pour sélectionner l'image à "imprimer". Dans le cas de l'homme, je fais la mise au point sur un objet proche, je dois éloigner mon capteur de l'objectif.

### **3.3 La profondeur de champ**

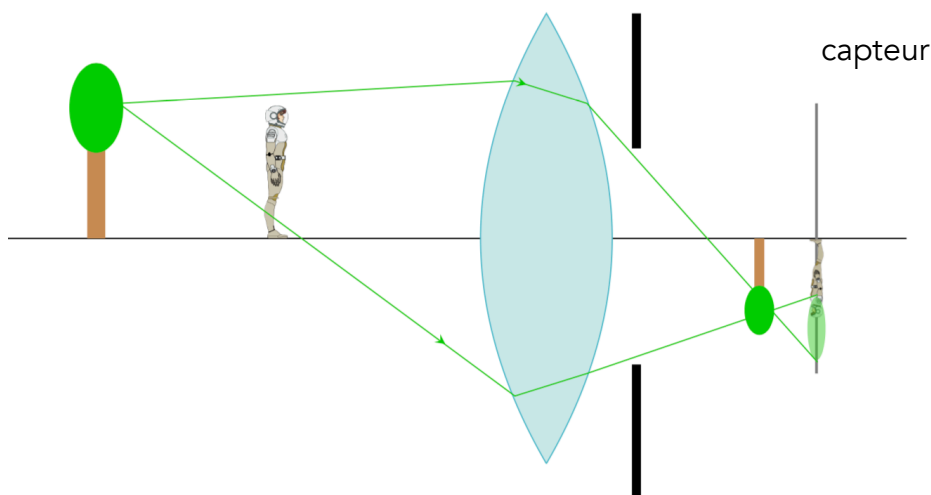
La profondeur de champ correspond à **la zone de netteté en avant et en arrière du plan de mise au point** : plus celle-ci est grande, plus la profondeur de champ est grande.

#### **a) Profondeur de champ et ouverture**

Celle-ci dépend de l'ouverture (diamètre d'entrée de l'objectif) que l'on règle à l'aide d'un diaphragme.

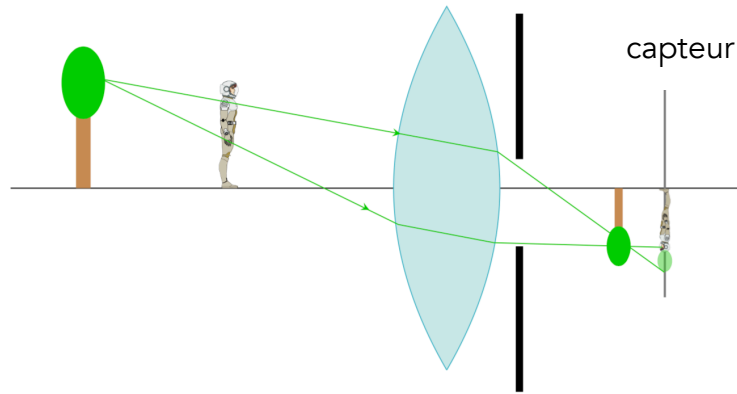
**Plus l'ouverture est petite plus la profondeur de champ sera grande**

Mais attention, la taille de l'ouverture influe sur la quantité de lumière qui imprégnera le capteur. Voici deux schémas qui montrent pourquoi la réduction de l'ouverture agrandit la profondeur de champ.





Avec un diaphragme ouvert, les feuilles des arbres créent une tache lumineuse assez large sur le capteur.

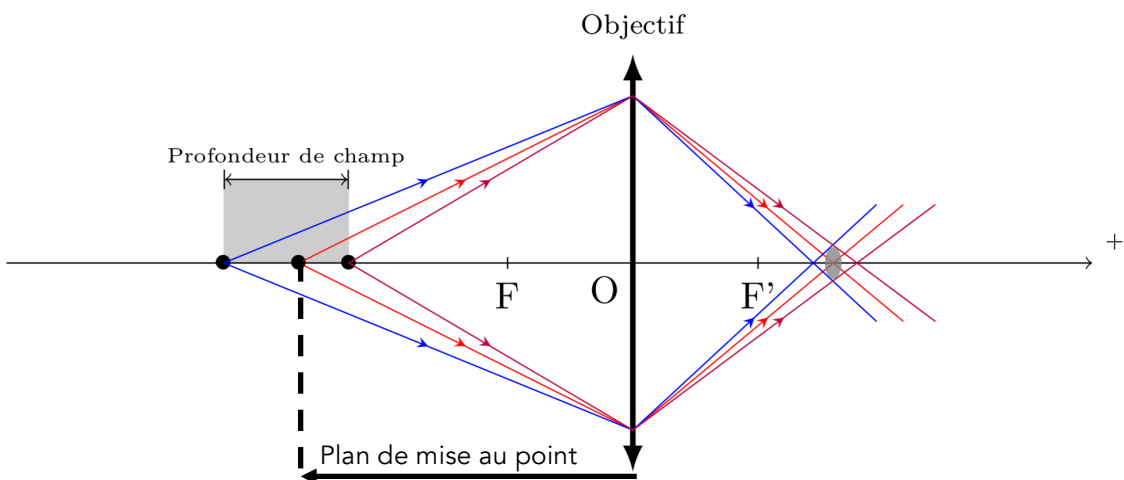
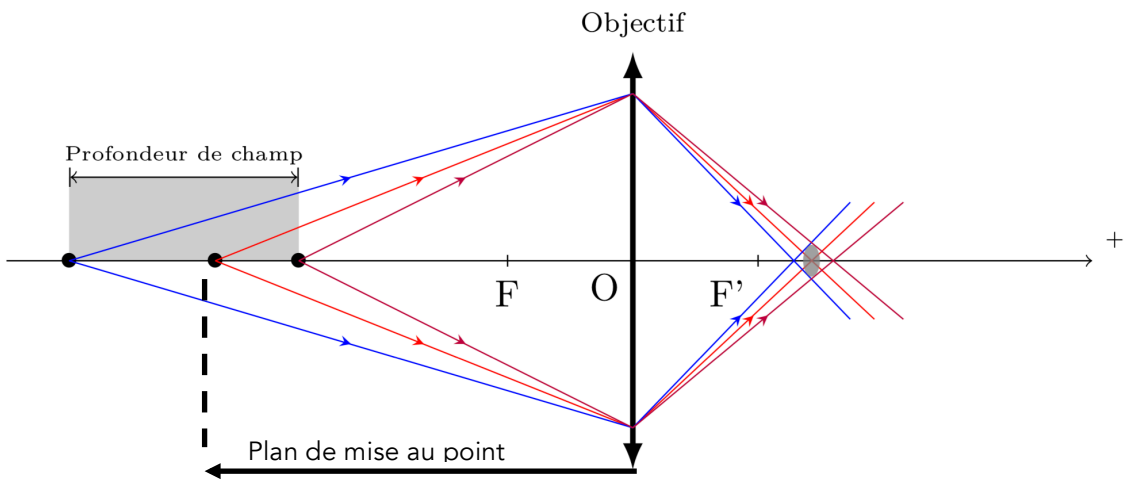


En réduisant l'ouverture, cette tache est plus petite. Si **elle est inférieure à la taille d'un pixel du capteur (par exemple), les feuilles seront vues nettes**. L'objet qui donnera une tache aussi grosse que les feuilles d'arbre du premier schéma sera plus loin en avant ou en arrière de l'homme, la zone de netteté sera plus importante.

**b) Profondeur de champ et distance de mise au point**

La profondeur de champ dépend aussi de la distance de mise au point : plus celle-ci est grande, plus la profondeur de champ est grande comme le montre le schéma suivant :

**Plus la distance de mise au point est grande, plus la profondeur de champ est grande**

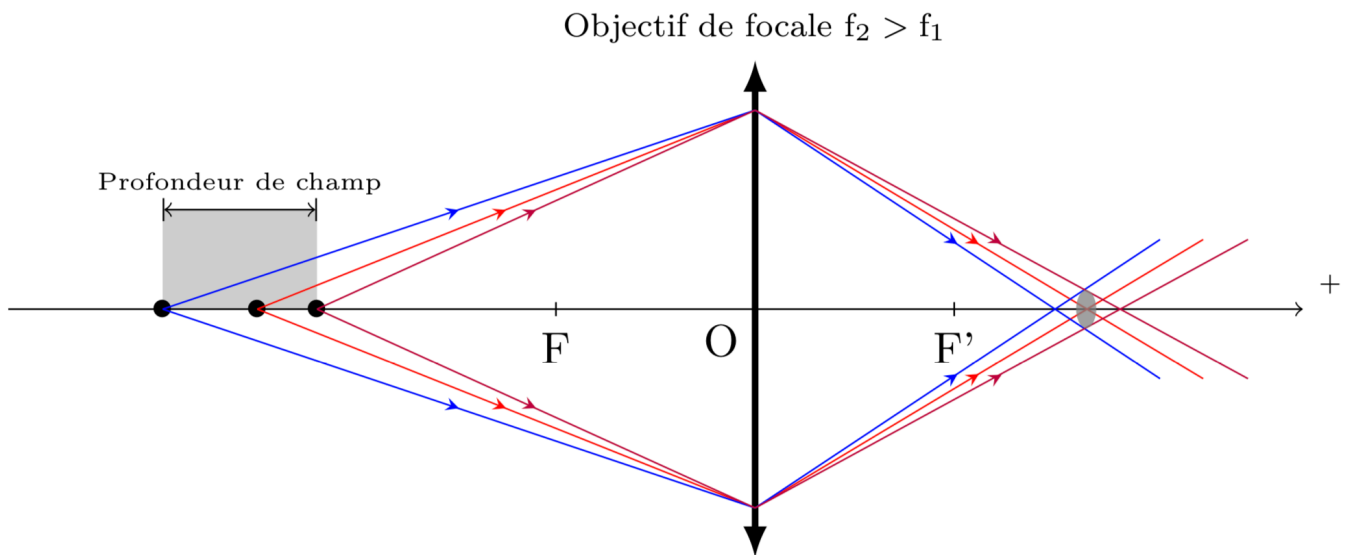
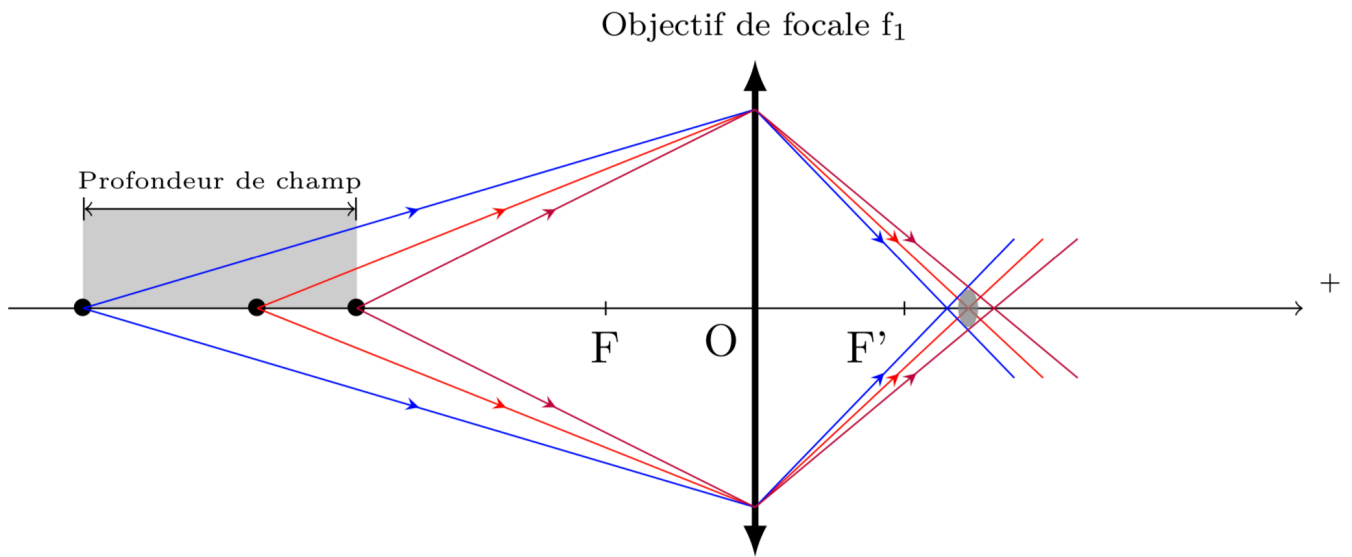


● : tache qui sera vue nette par la pellicule ou le capteur

### c) Profondeur de champ et focale

Enfin, la profondeur de champ dépend de la focale :

**Plus la focale est courte, plus la profondeur de champ est grande**



● : tache qui sera vue nette par la pellicule ou le capteur

Pour les réglages, typiquement, on utilise une profondeur de champ faible, donc une grande ouverture pour effectuer des portraits, et une profondeur de champ importante lorsqu'il s'agit de photographier un paysage. Mais en même temps que l'on règle celle-ci, il faut penser à régler le temps d'exposition du capteur car la photo risquerait d'être surexposée (pour un portrait) ou sous-exposée (pour un paysage).





Faible profondeur de champ



Grande profondeur de champ

Sources :

<https://mchampion.fr/index.php>

[https://www.physagreg.fr/optique-14-instruments-optiques.php#lappareil\\_photo\\_reflex](https://www.physagreg.fr/optique-14-instruments-optiques.php#lappareil_photo_reflex)

## IV – LUNETTES DE VISEES A L'INFINI

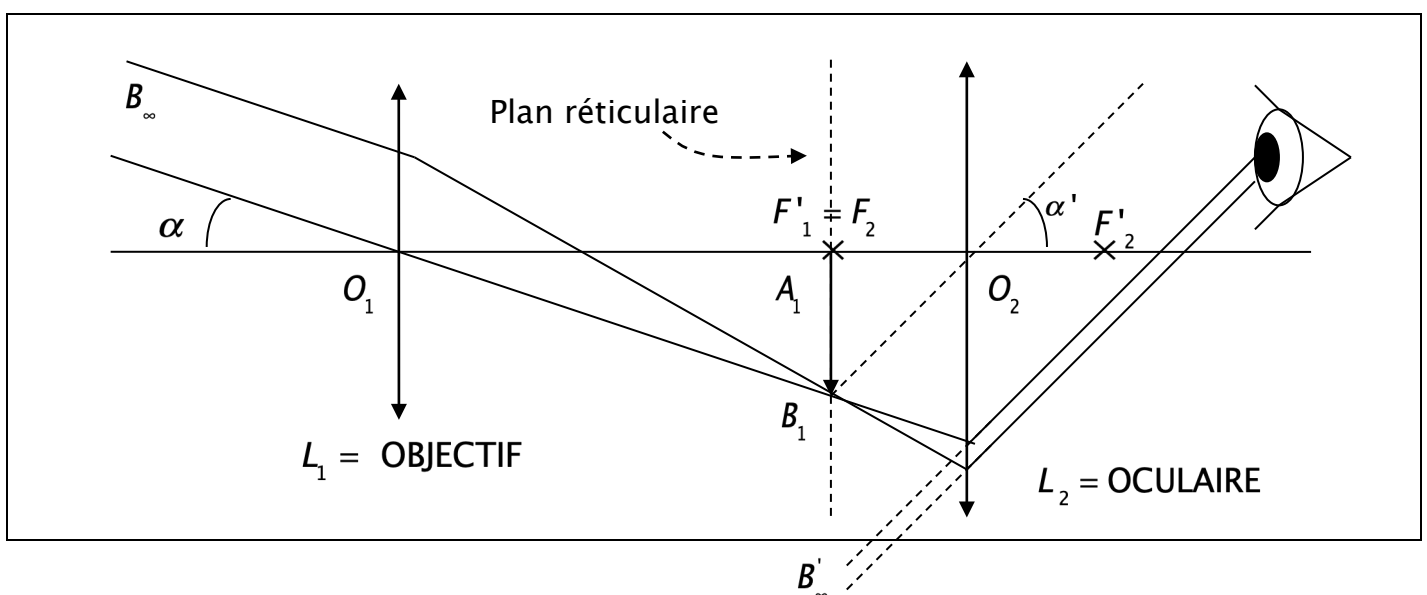
### 4.1 Constitution

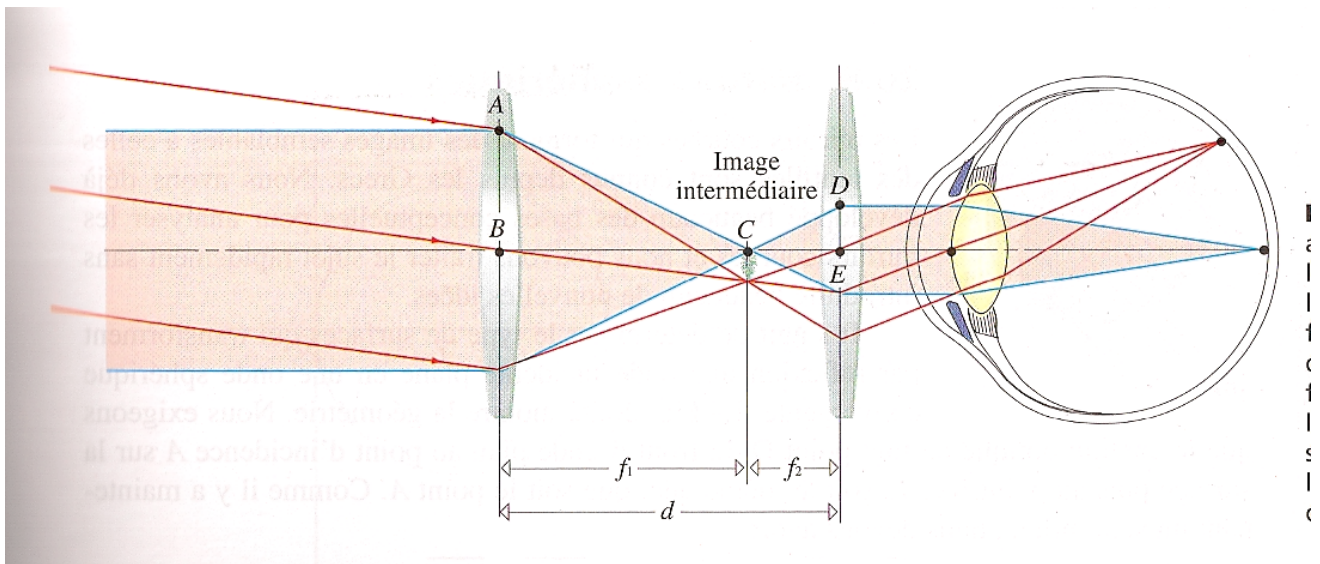
⇒ **L'objectif assimilé à une lentille convergente** (côté objet): il est constitué de plusieurs lentilles pour corriger au maximum les problèmes d'aberrations géométriques et chromatiques.

⇒ **L'oculaire assimilé à une lentille convergente** (côté œil): il est constitué en réalité d'un doublet de lentilles. Il joue le rôle de loupe pour observer l'image intermédiaire formée par l'objectif.

⇒ **Le réticule**. Il s'agit d'une lame de verre sur laquelle est gravée en général une croix et qui est solidaire de la lunette. Le réticule sert d'objet pour régler la lunette (voir la suite).

### 4.2 Schématisation





Le schéma ci-dessus montre la formation de l'image d'un objet situé à l'infini grâce à une lunette (correctement réglée).

On appelle **cercle oculaire** l'image de l'objectif (lentille  $L_1$ ) à travers l'oculaire (lentille  $L_2$ ). Etant donné que pour une lunette  $f'_1 > f'_2$ , le cercle oculaire est proche du foyer image  $F'_2$ , on peut montrer que c'est au cercle oculaire que passe le maximum de lumière (l'énergie lumineuse est maximale) ; il faut donc placer son œil au cercle oculaire pour visualiser l'image la plus lumineuse. On placera donc l'œil près de  $F'_2$ .

Par définition le grossissement  $G$  de la lunette correspond à  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ , comme pour la loupe.

$$\tan \alpha \approx \alpha \approx \frac{\overline{AB_1}}{f'_1} \text{ et } \tan \alpha' \approx \alpha' \approx -\frac{\overline{AB_1}}{f'_2} \text{ donc : } \boxed{G = -\frac{f'_1}{f'_2}}$$

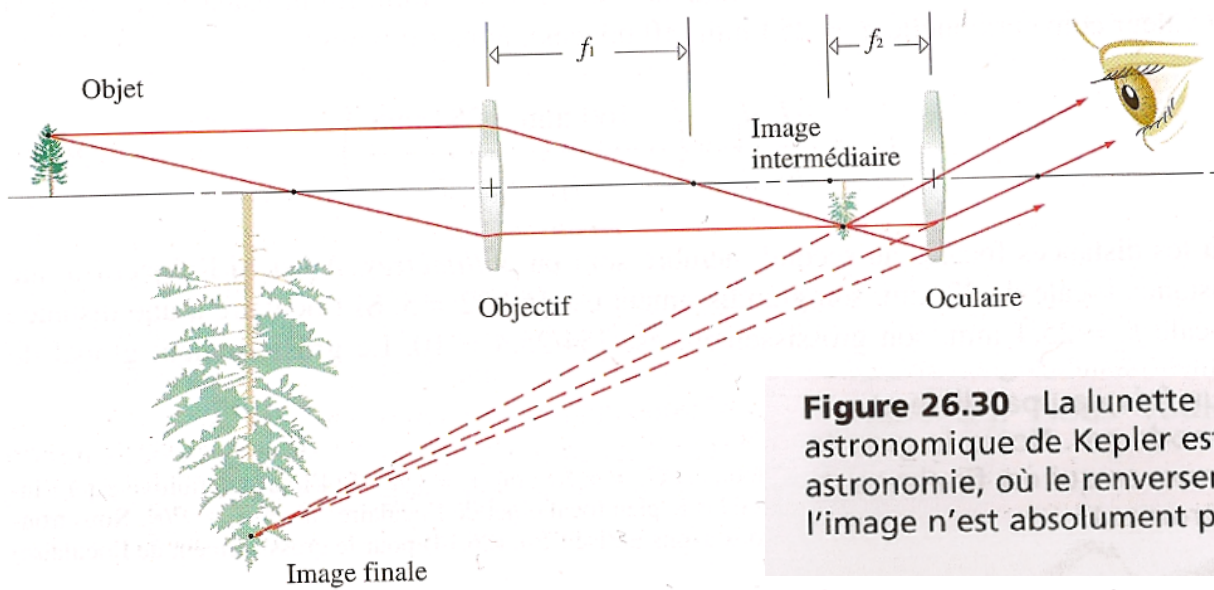
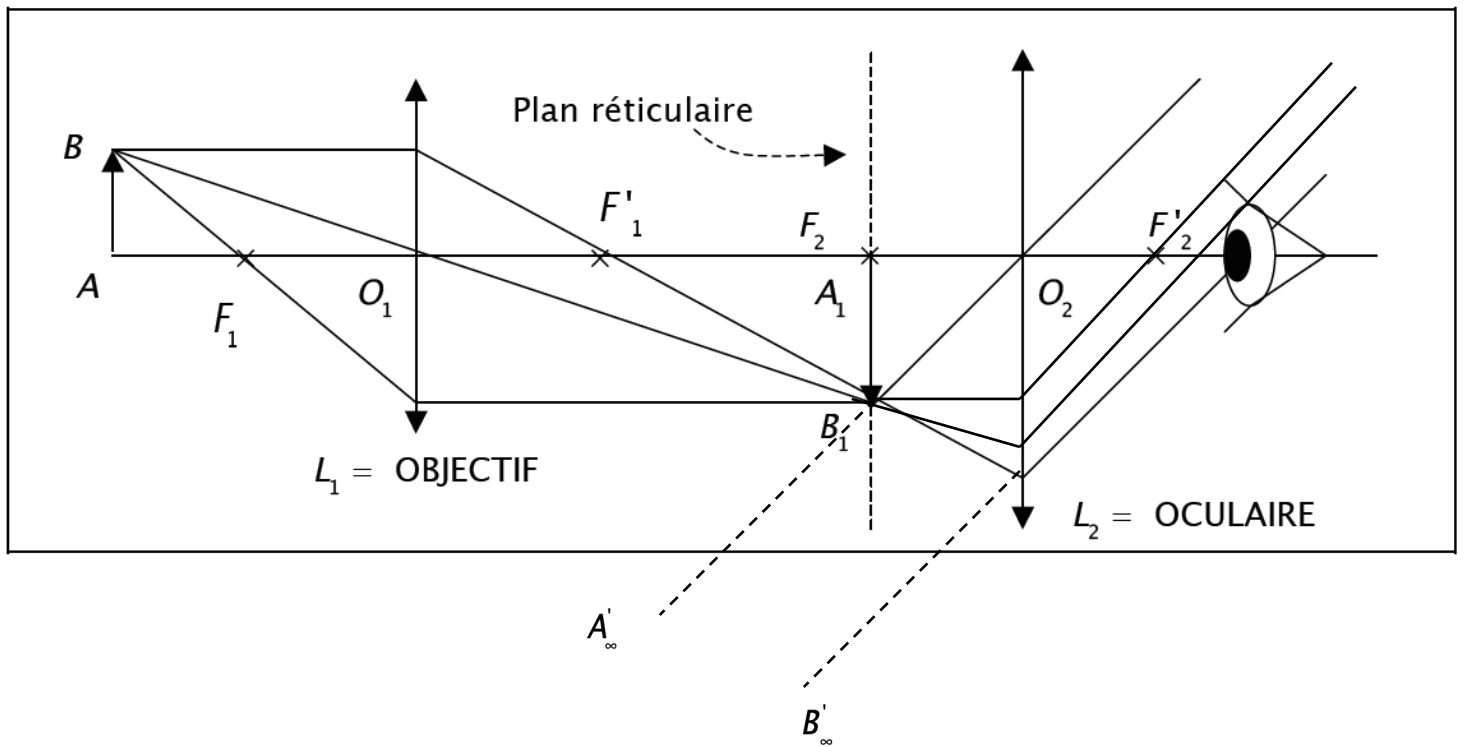
Le signe  $-$  traduit le fait que l'image est **renversée**. On remarque que l'image d'un objet à l'infini par une lunette donne une image qui est elle-même à l'infini. La lunette est donc un système optique **afocal**, elle ne possède pas de foyer image.

## V - VISEUR OU LUNETTE A FRONTALE FIXE

Un viseur est une lunette réglée de façon à donner une image nette d'un objet à **distance finie**. Un viseur permet de faire des **pointés longitudinaux**, c'est-à-dire de mesurer la position d'objets sur un banc d'optique (voir TP tournants d'optique) et de faire des **pointés transversaux**, c'est-à-dire de mesurer la taille d'objets dans une direction perpendiculaire au banc d'optique.

Pour que la lunette donne une image nette d'un objet à distance finie, il faut encore que l'image intermédiaire, fournie par l'objectif, soit dans le plan focal objet de l'oculaire. Mais cette fois, la position de  $F'_1$  est forcément différente de celle de  $F_2$  comme l'illustre le schéma ci-dessous.

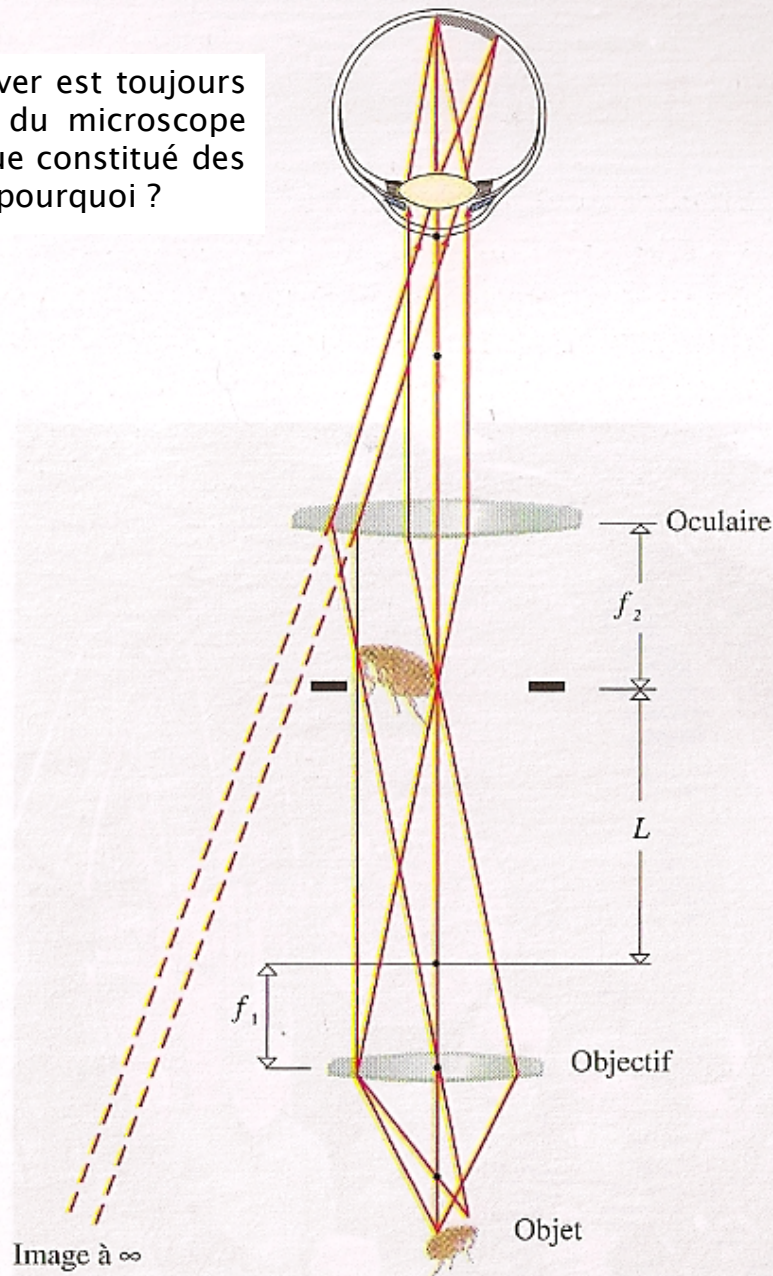




**Figure 26.30** La lunette astronomique de Kepler est utilisée en astronomie, où le renversement de l'image n'est absolument pas gênant.

# ANNEXE I: LE MICROSCOPE

L'objet à observer est toujours le **foyer objet** du microscope (système optique constitué des deux lentilles), pourquoi ?



**Figure 26.29** Un microscope simple : L'objectif forme une image réelle et agrandie de l'objet. Cette image est agrandie encore par l'oculaire. Parce que l'image intermédiaire est dans le plan focal de l'oculaire, les rayons issus de tout point de cette image arrivent à l'œil comme un faisceau parallèle et l'œil n'accommode pas. Notez la grande image rétinienne, ce qui est finalement le but de l'instrument.