

CONNAISSANCE DE BASES EN OPTIQUE GEOMETRIQUE

1) Sources de lumières

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).



Manipulation (par l'enseignant) : 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 λ possible. Bien sur, suivant la température T du corps en question, ce dernier émet principalement autour d'une longueur d'onde moyenne λ_m donnée par la relation de Wien : $\lambda_m T = 2,987 \times 10^{-3} \text{ K.m}$. 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 ($0,4 \mu\text{m} - 0,8 \mu\text{m}$).



Manipulation (par l'enseignant) : Lanterne de projection (Hg) + prisme à vision directe.

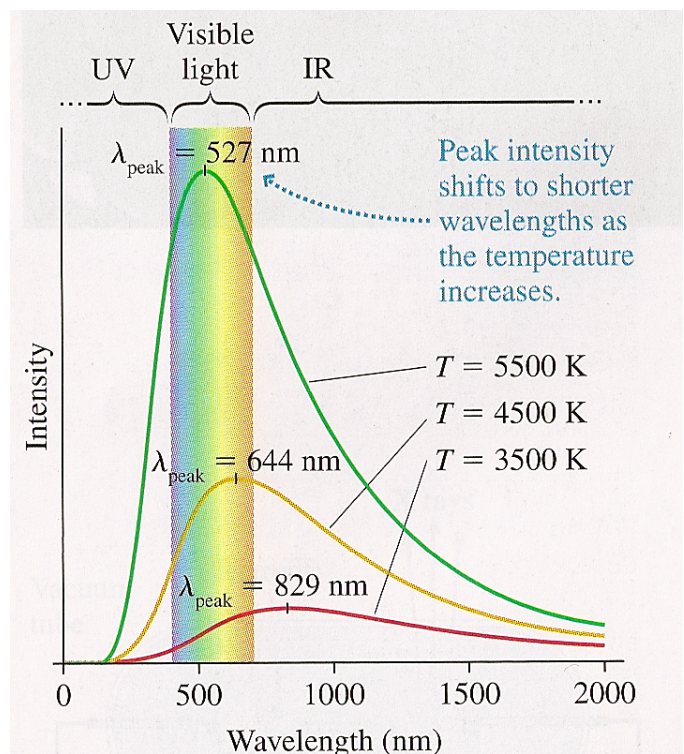


FIGURE 25.40 A thermal emission spectrum depends on the temperature.

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).



Manipulation (par l'enseignant) : Laser He-Ne rouge.

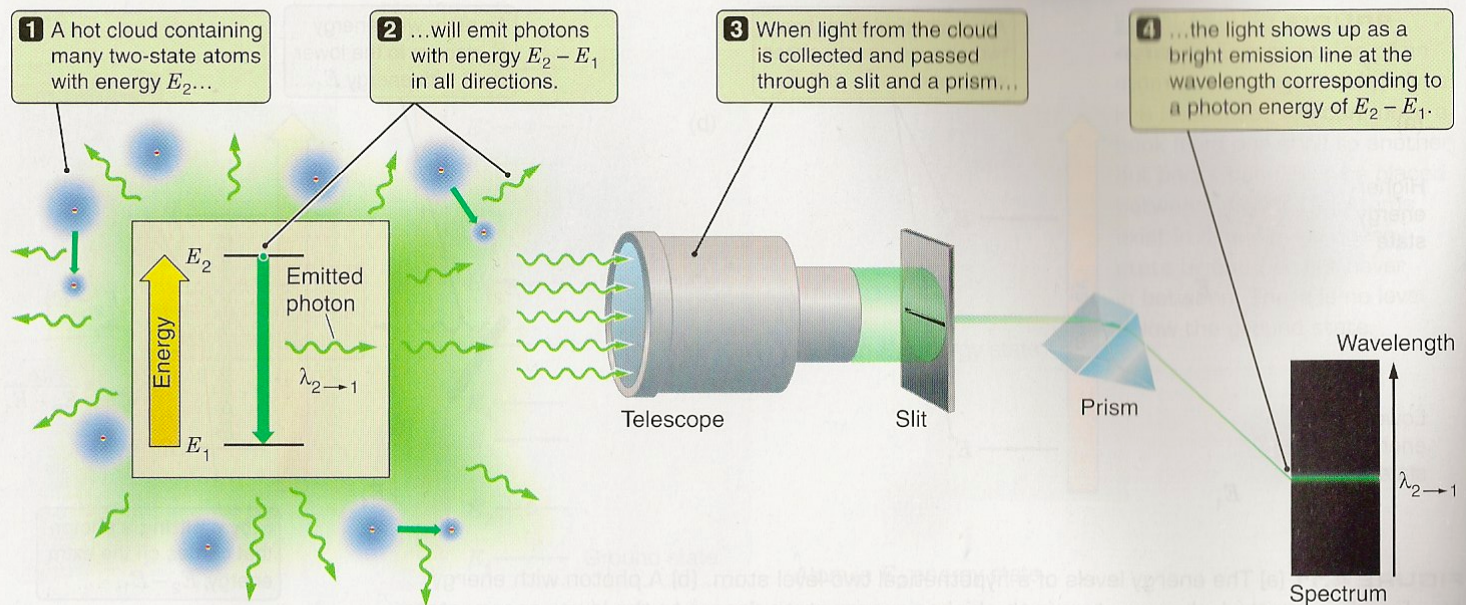


FIGURE 4.12 A cloud of gas containing atoms with two energy states, E_1 and E_2 , emits photons with an energy $E = hf = E_2 - E_1$, which appear in the spectrogram (right) as a single *emission line*.

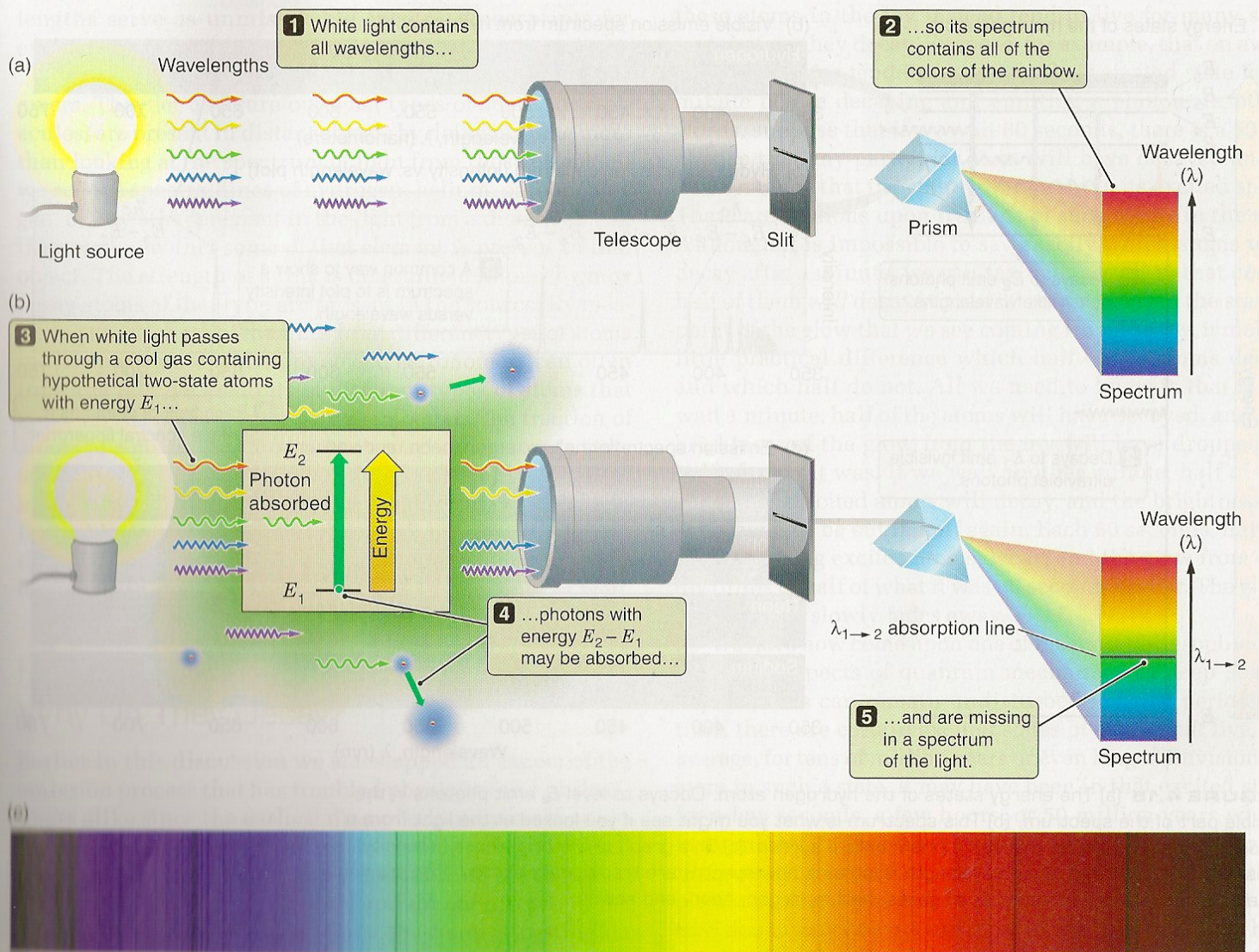


FIGURE 4.14 (a) When passed through a prism, white light produces a spectrum containing all colors. (b) When light of all colors passes through a cloud of hypothetical two-state atoms, photons with energy $hf = E_2 - E_1$ may be absorbed, leading to the dark absorption line in the spectrogram. (c) Absorption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

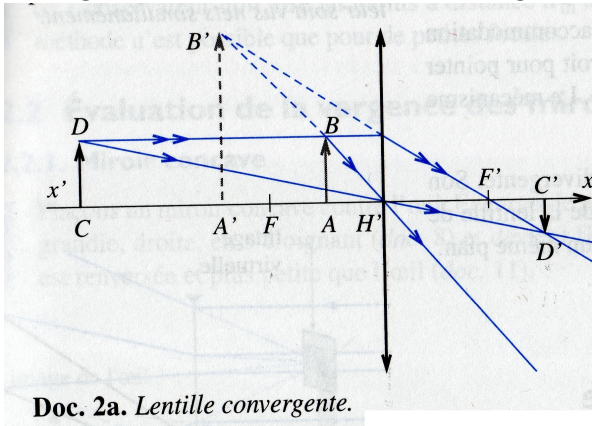
2) Identification des lentilles et miroirs

2-1) Lentilles

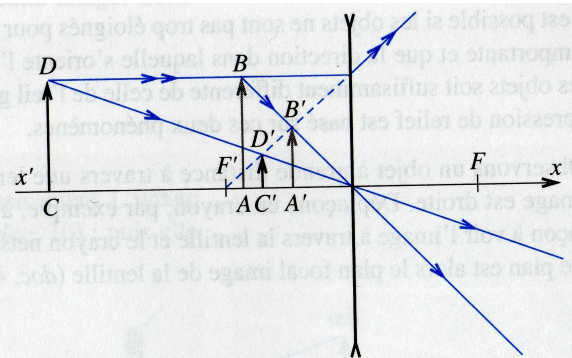


Manipulation (par les élèves) : jeu de lentilles.

- a) Bords minces $\Rightarrow$ convergente.
Bords épais $\Rightarrow$ divergente.
- b) Objet à faible distance de la lentille, observation :
 $\Rightarrow$ Si image plus grande : lentille convergente (loupe).
 $\Rightarrow$ Si l'objet est au-delà du foyer, l'image disparaît, elle devient réelle et se forme derrière l'œil.
 $\Rightarrow$ Si image plus petite : lentille divergente (verre pour myope).



Doc. 2a. Lentille convergente.



Doc. 2b. Lentille divergente.

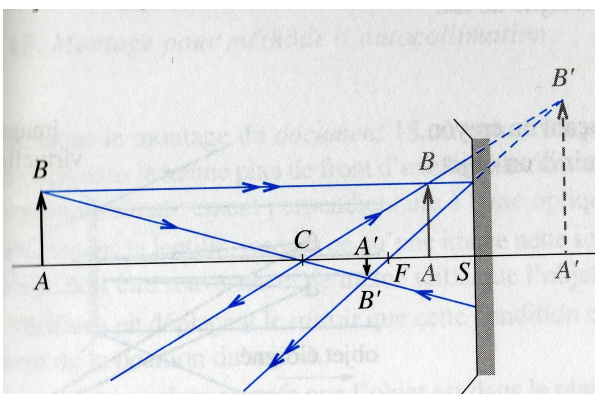
- c) Déplacement transversal de la lentille (par rapport à l'objet d'observation) :
 $\Rightarrow$ Si l'image se déplace dans le même sens, la lentille est divergente.
 $\Rightarrow$ Si l'image se déplace dans le sens contraire, la lentille est convergente.

2-2) Miroirs

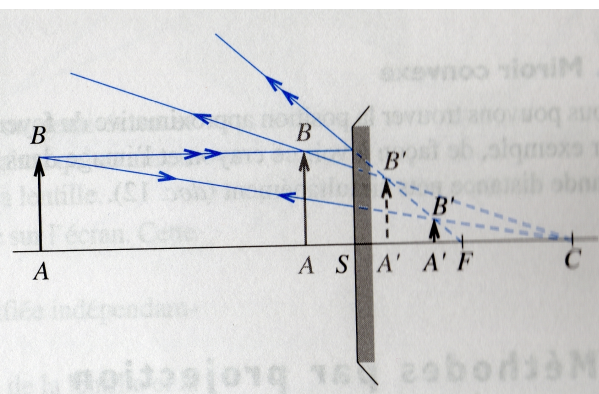


Manipulation (par les élèves) : jeu de miroirs.

- a) Face réfléchissante bombée $\Rightarrow$ concave=convergent.
Face réfléchissante creuse $\Rightarrow$ convexe=divergent.



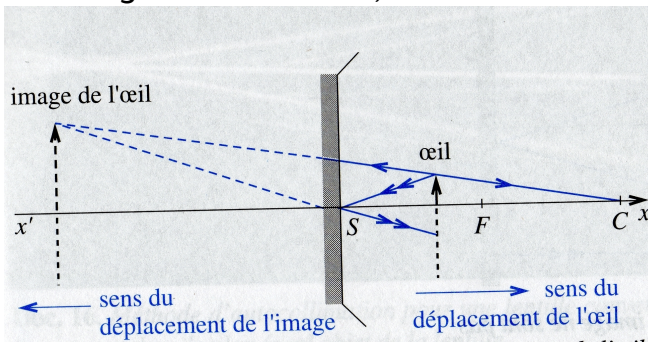
Doc. 7a. Miroir concave.



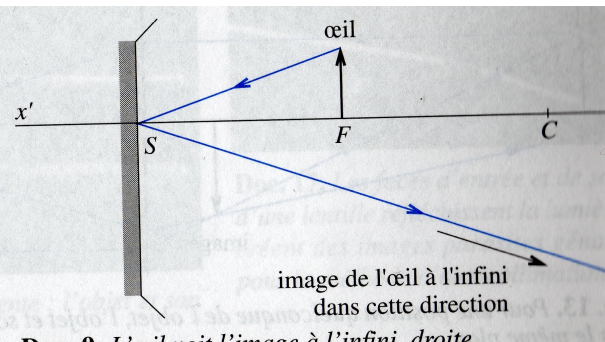
Doc. 7b. Miroir convexe.

- b) Objet à faible distance par rapport à la distance focale :
 $\Rightarrow$ Si l'image est plus grande, le miroir est convergent.
 $\Rightarrow$ Si l'image est plus petite, le miroir est divergent.
 $\Rightarrow$ Si l'image est de même taille, le miroir est plan.

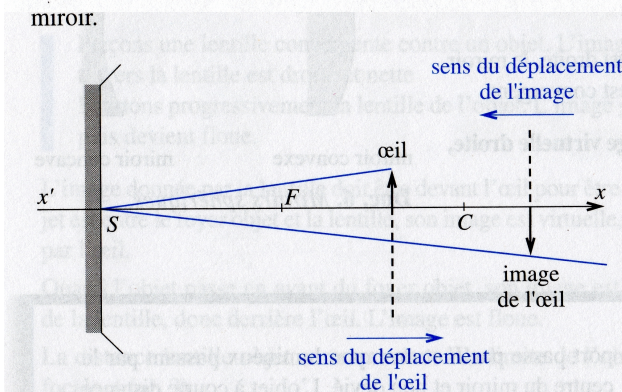
- c) Objet à grande distance par rapport à la distance focale :
 ⇒ Si l'image est droite, le miroir est divergent est plan.
 ⇒ Si l'image est renversée, le miroir est concave.



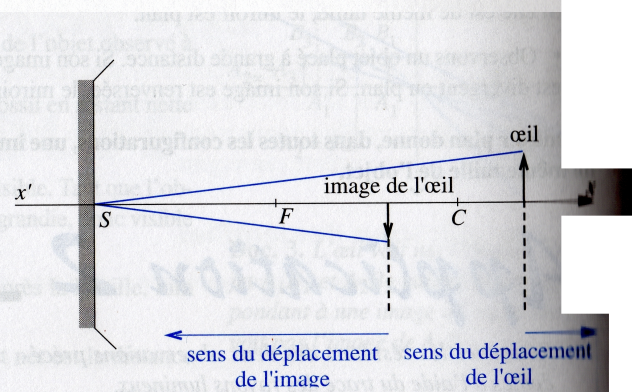
Doc. 8. L'œil voit l'image grandir, droite ; elle s'éloigne de l'œil.



Doc. 9. L'œil voit l'image à l'infini, droite.



Doc. 10. L'œil ne peut voir l'image située derrière lui.



Doc. 11. L'œil voit l'image plus petite et inversée ; elle s'éloigne de lui.

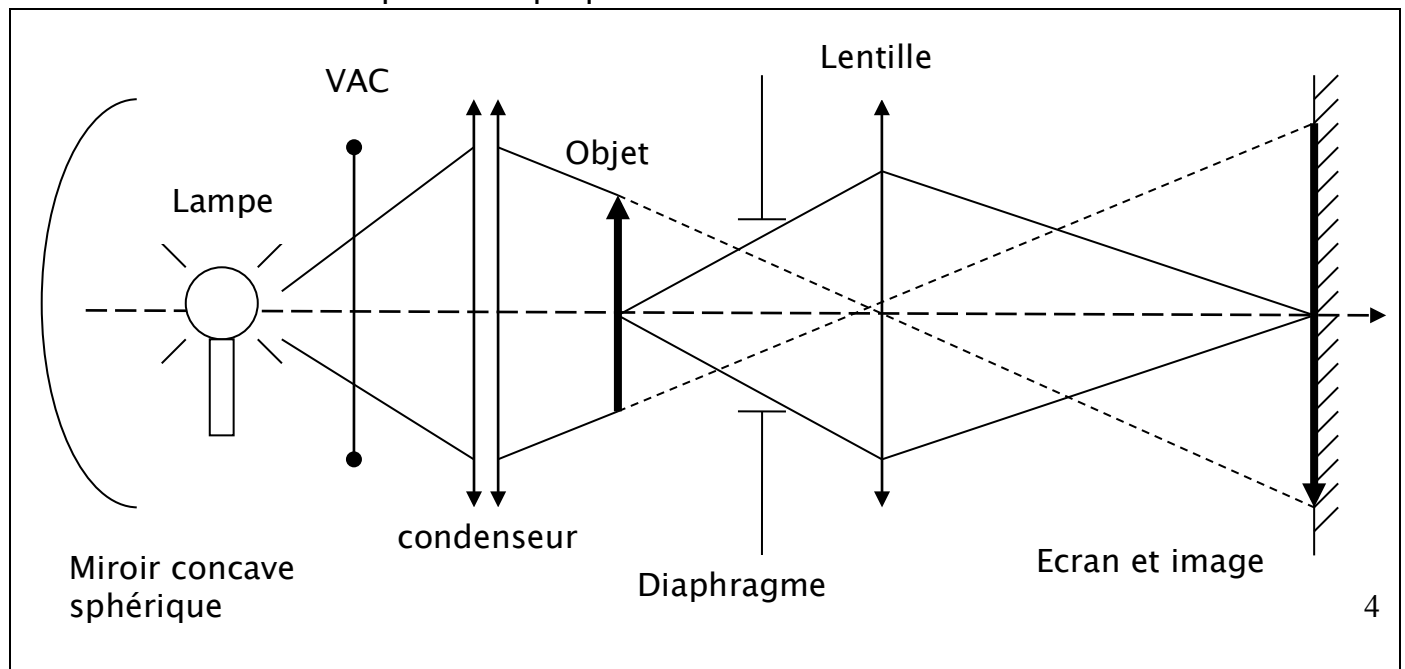
- d) Objet (ici l'œil) près avec un miroir concave, l'image est grandie et droite. Si on éloigne l'objet, l'image finie par disparaître quand l'objet est à la distance focale du miroir, l'image se forme à l'infini.

3) Formation des images



Manipulation (par l'enseignant) : Montage ci-dessous sur un banc d'optique.

⇒ Le condenseur fait converger le faisceau lumineux vers le centre optique de la lentille, on limite les aberrations géométriques car on est plus proche des conditions de Gauss. On concentre aussi la lumière sur l'objet. Le verre anti-calorique (VAC) limite l'échauffement des composants optiques.



⇒ Le condenseur fait converger le faisceau lumineux vers le centre optique de la lentille, on limite les aberrations géométriques car on est plus proche des conditions de Gauss. On concentre aussi la lumière sur l'objet. Le verre anti calorique limite l'échauffement des composants optique.

⇒ Le diaphragme permet de limiter l'inclinaison des rayons, on se rapproche des conditions de Gauss.

⇒ Pour obtenir une image, on verra en exercice que $D_{\text{objet-écran}} > 4f'$.

4) Auto collimation

Cette méthode permet de déterminer la distance focale f' d'une lentille convergente et d'un miroir convergent.

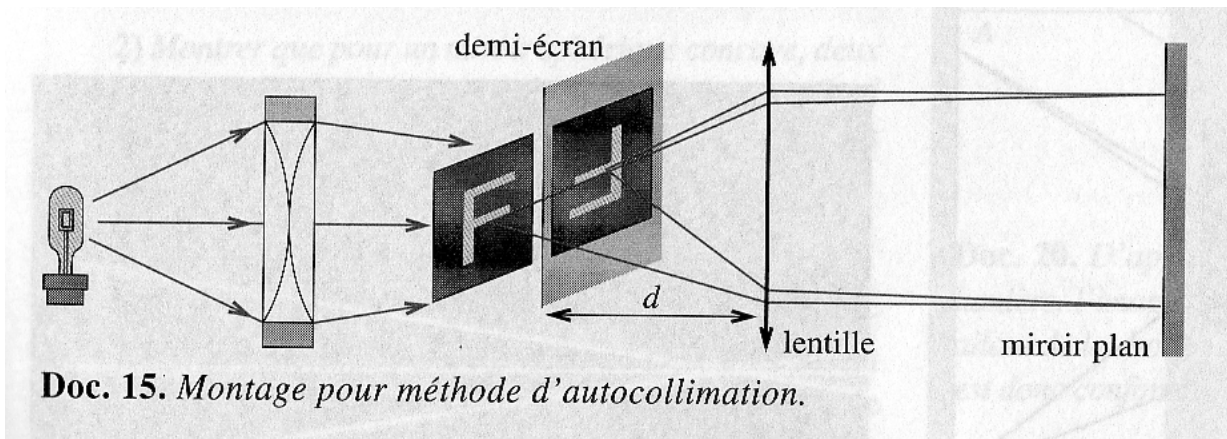
Objet (AB) $\xrightarrow{\text{lentille}}$ infini $\xrightarrow{\text{miroir plan}}$ infini $\xrightarrow{\text{lentille}}$ Image (A'B')

Plan focal Plan focal

4-1) Lentille convergente

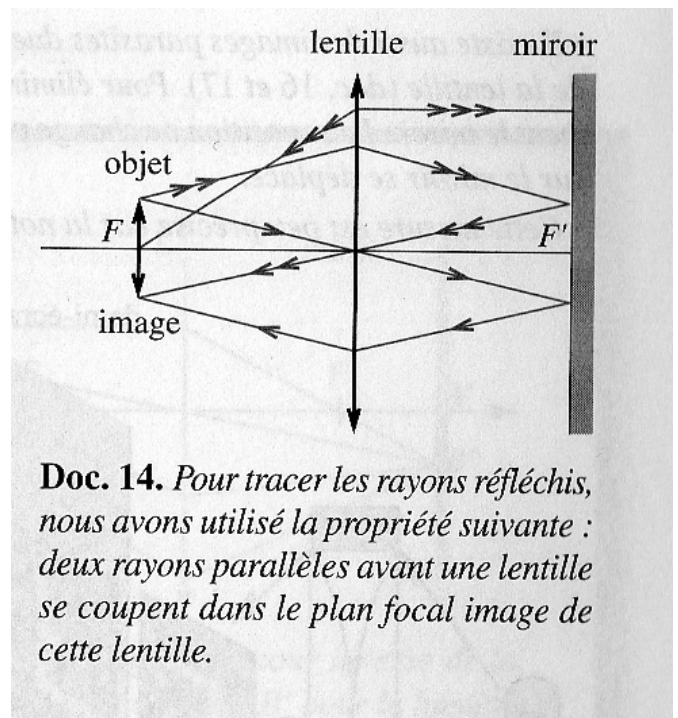


Manipulation (par les élèves) : Montage ci-dessous : objet, lentille convergente, miroir plan.



Il existe aussi des images parasites dues à la réflexion de la lumière sur les faces de la lentille. Pour éliminer ces images, il suffit de tourner légèrement le miroir. La position de la véritable image ne change pas alors que la position de l'image par réflexion sur le miroir se déplace.

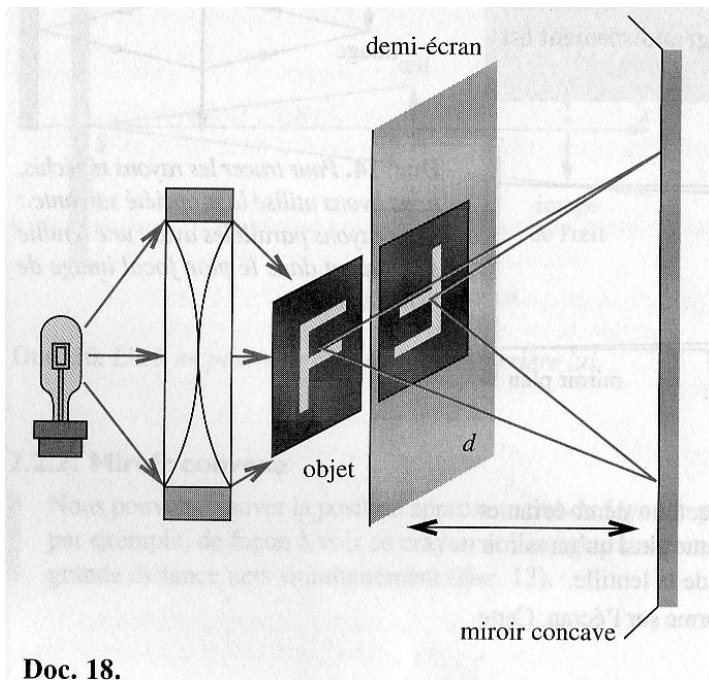
Il s'agit d'une mesure peu précise car la notion de netteté d'une image est subjective.



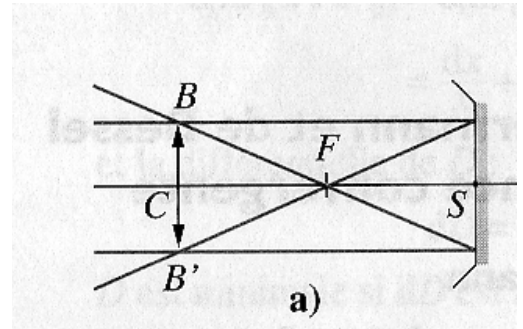
4-2) Miroir sphérique concave (convergent)



Expérience (par les élèves) : Montage ci-dessous : objet, miroir convergente.



Doc. 18.



Quand l'objet est en C , l'image se forme aussi en C . Comme $\overline{SC} = R = 2f'$, on trouve f' .

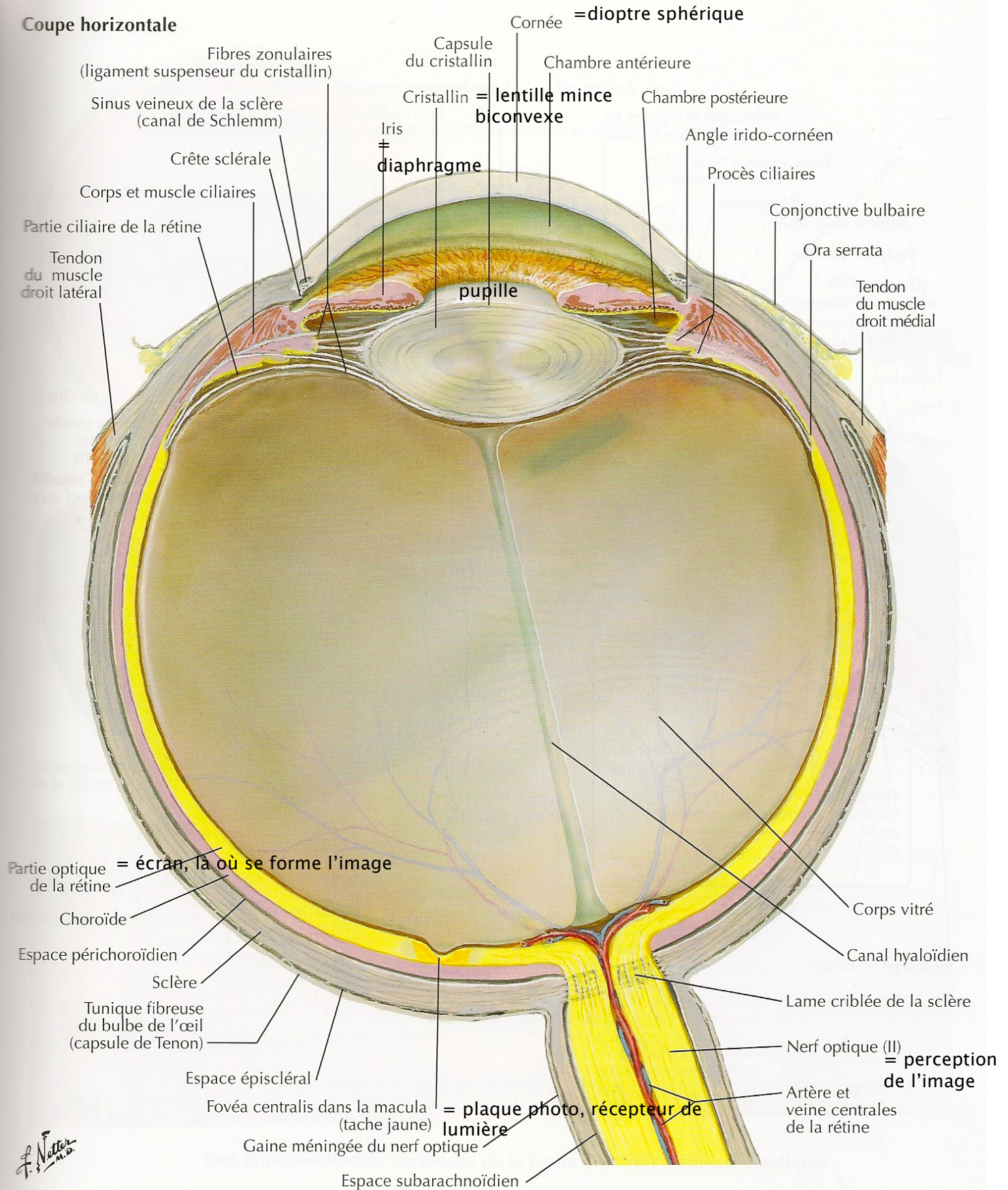
5) Modèle de l'œil, loupe

5-1) Modèle optique simple de l'œil

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

cornée + cristallin = lentille convergente $f' = 50$ mm environ, c'est l'objectif de l'oeil

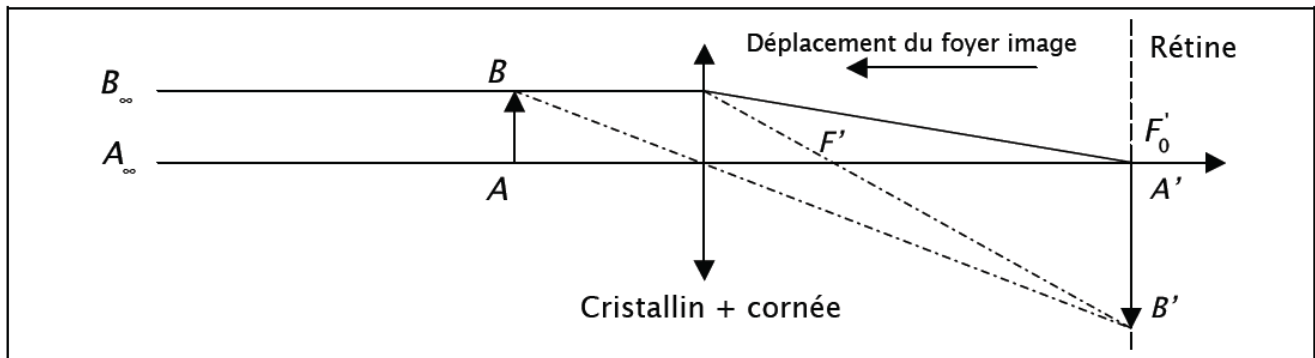
Coupe horizontale



5-2) Le phénomène d'accommodation

a) Le « punctum remotum » noté PR .

Un point objet à l'infini, A_∞ , 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

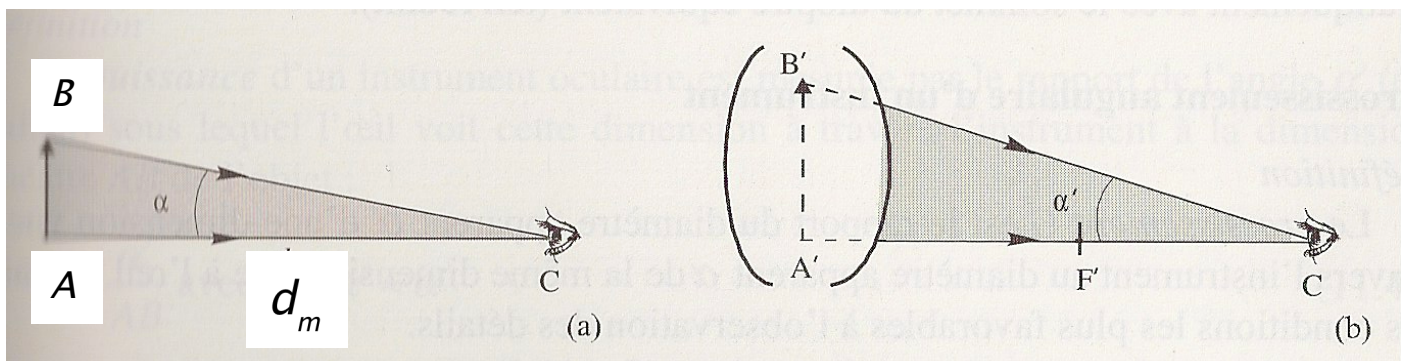
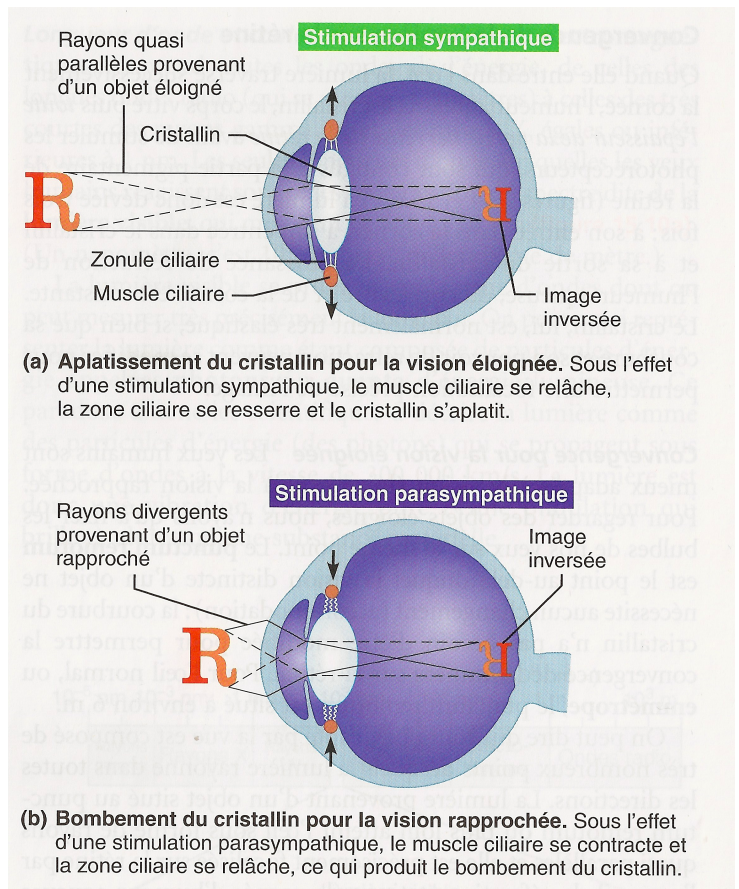
standard $d_m \approx 25 \text{ cm} = \frac{1}{4} \text{ m}$. On

choisit cette valeur pour la réalisation d'instruments d'optique.

On place l'objet AB au PP .

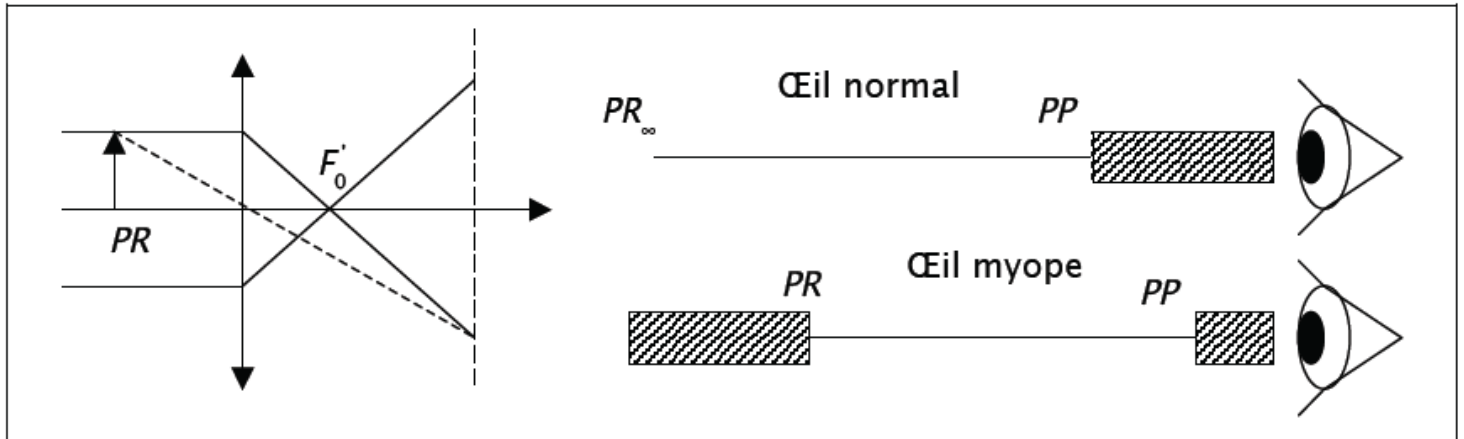
$$\tan \alpha \approx \alpha = \frac{AB}{d_m} = 4 AB$$

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



d) Défaut de l'œil : exemple de la **myopie**.

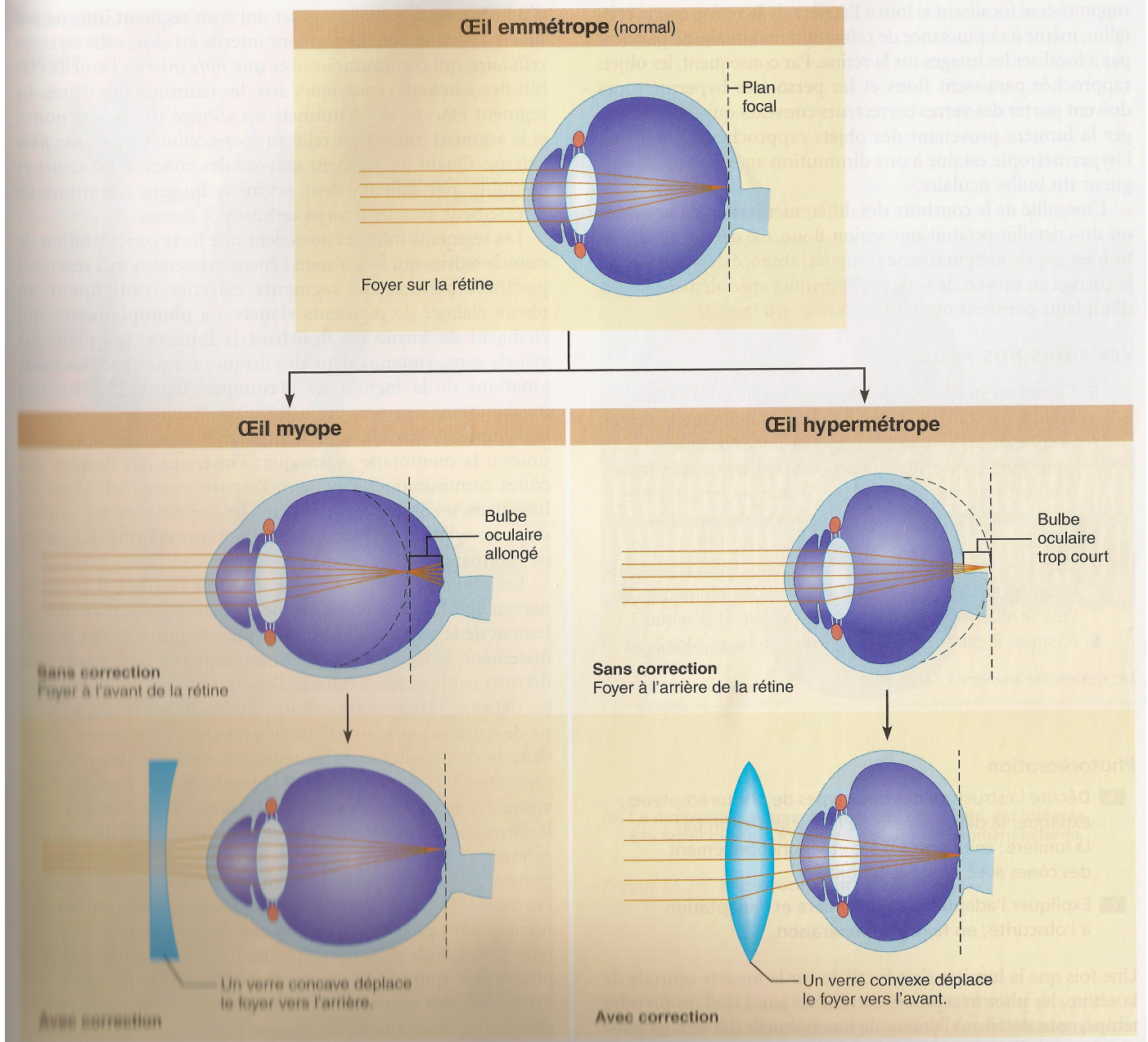
Dans ce cas, le cristallin est trop convergent ; l'œil ne voit pas de loin (c'est-à-dire à l'infini) mais voit de plus près. Son PR est maintenant à distance finie. Pour une image située au PR , l'œil n'accommode pas, l'image est nette sur la rétine. Pour la myopie, les lunettes correctrices sont donc divergentes.



L'hypermétropie est caractérisée 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).

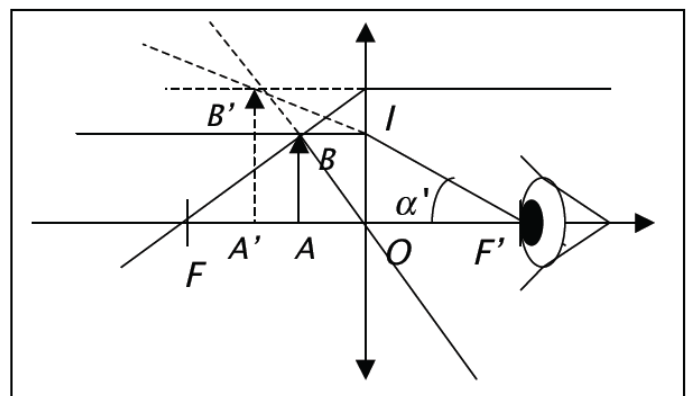
L'astigmatisme est lié à un défaut de symétrie de révolution de l'œil, il y a des aberrations géométriques. La lentille correctrice n'est pas sphérique.

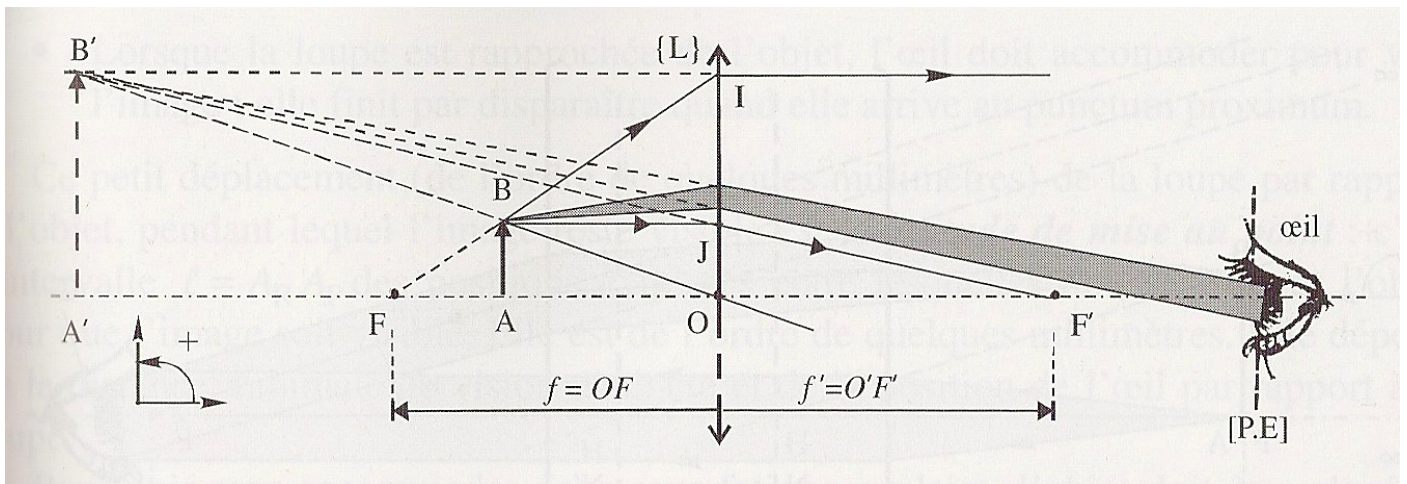


5-3) La loupe

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 α' 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 :

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

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.

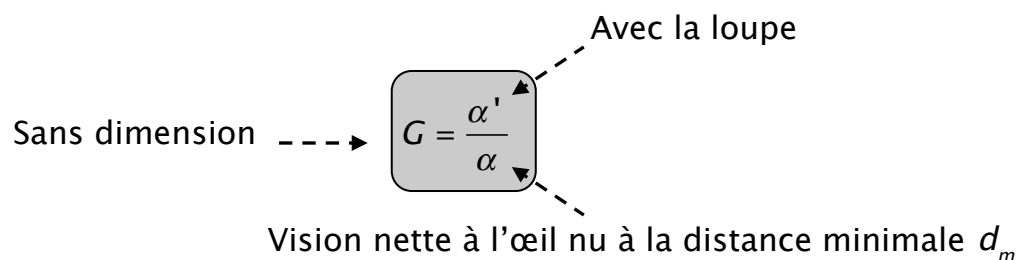
Une loupe est utile si $\alpha' \geq \alpha_m$, on peut ainsi voir des objets que l'œil seul ne pourrait distinguer.

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 δ , $AB_m = 0.01$ mm.

e) Grossissement



On a : $\alpha = \frac{AB}{d_m} \Rightarrow G = P d_m$. On définit le grossissement commercial par

$G_c = P \frac{1}{4} = \frac{1}{4f'(m)}$ ce qui correspond à l'objet placé à la distance d_m sans loupe.

A.N : $f' = 2.5 \text{ cm}$, $G_c = 10$.

6) Lunettes de visée à l'infini

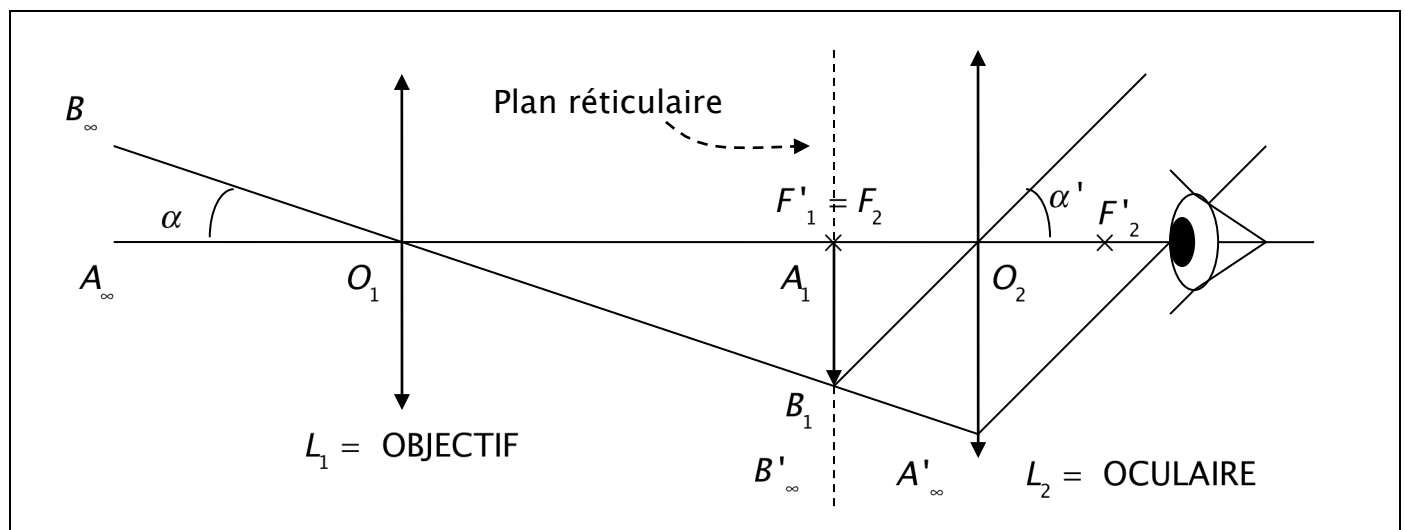
6-1) Constitution

⇒ **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).

6-2) 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. $\tan \alpha \approx \alpha \approx \frac{\overline{A_1 B_1}}{f'_1}$ et $\tan \alpha' \approx \alpha' \approx -\frac{\overline{A_1 B_1}}{f'_2}$ donc :

$$G = -\frac{f'_1}{f'_2}$$

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.

6-3 Réglages



Manipulation (par les élèves) : réglage de la lunette sur l'infini.

La lunette est correctement réglée lorsque l'on peut voir à travers la lunette, de façon nette, à la fois l'objet visé et le réticule sans effet d'accommodation. Pour cela deux réglages successifs sont à effectuer.

a) Réglage de l'oculaire.

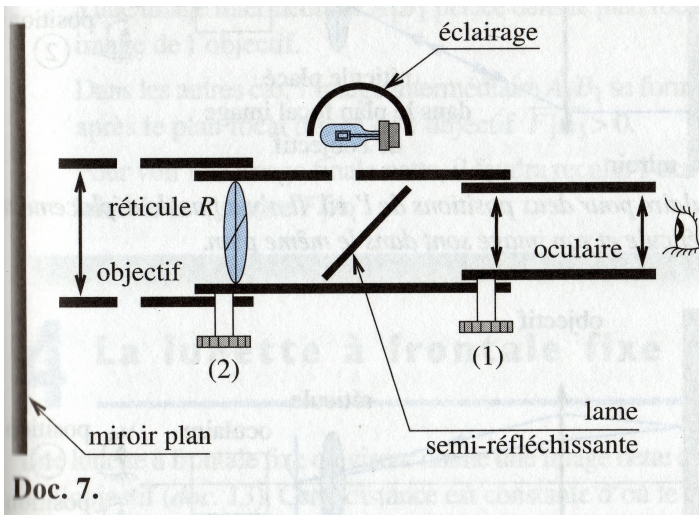
L'oculaire est bien réglé lorsque l'on voit net et sans accommodation le réticule. Cela signifie que le réticule est dans le plan focal objet de l'oculaire.

b) Réglage de l'objectif.

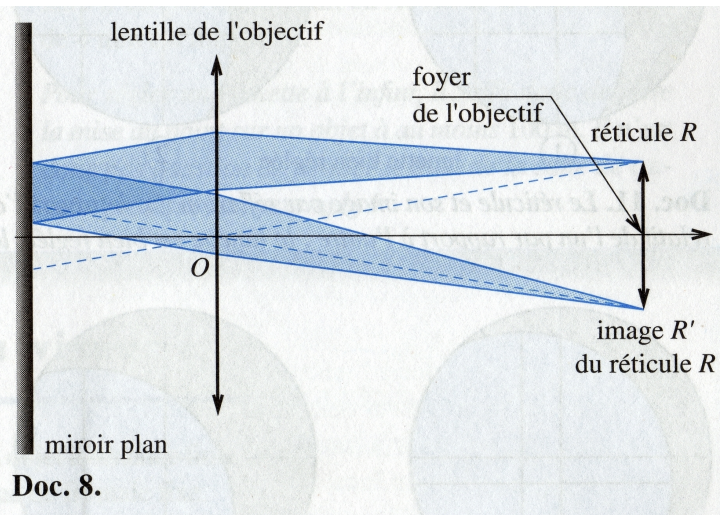
L'objectif est bien réglé lorsque l'on voit net et sans accommodation le réticule et l'objet visé. Cela signifie que le plan focal image de l'objectif coïncide avec le plan focale objet de l'oculaire.

Il y a de façon de régler l'objectif :

- On peut viser un objet très éloigné (une colline) et régler l'objectif pour voir de façon nette à la fois l'objet et le réticule.
- Un objet même très éloigné n'est jamais réellement à l'infini. Pour affiner notre réglage on peut procéder par **auto collimation** comme indiqué sur les schémas ci-dessous.



Doc. 7.



Doc. 8.

On peut résumer réglage par auto collimation de la façon suivante :

Réticule R $\xrightarrow{\text{objectif}}$ infini $\xrightarrow{\text{miroir plan}}$ infini $\xrightarrow{\text{objectif}}$ image du réticule R' renversée en F'_1

Quand le réglage est correct, on doit voir de façon nette et sans accommodation la superposition du réticule et de son image renversée. Il peut se produire une **erreur de parallaxe** à cause de l'accommodation de l'œil en cas de mauvais réglage et cela peut nous faire croire que R et R' sont bien superposés. Le réglage est réellement correct si

le réticule et son image ne se déplacent pas lorsqu'on déplace l'œil latéralement devant l'oculaire.

Remarque : Si l'observateur qui utilise la lunette change, il ne faut pas toucher le réglage de l'objectif mais seulement celui de l'oculaire.

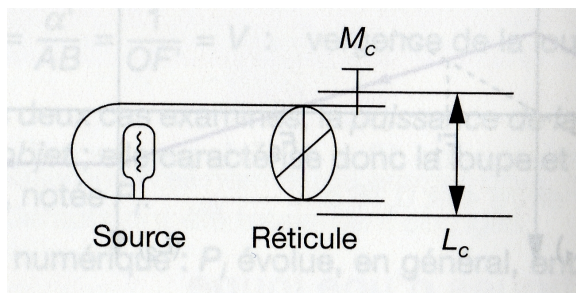
7) Collimateur

Un collimateur est un système optique permettant d'obtenir **un objet à l'infini**. Il est constitué d'un objet (ici un réticule) éclairé et d'une lentille convergente. La distance réticule–lentille est réglable de façon à donner une image à l'infini du réticule. Pour cela, il faut évidemment que la distance réticule–lentille soit égale à la distance focale de la lentille.

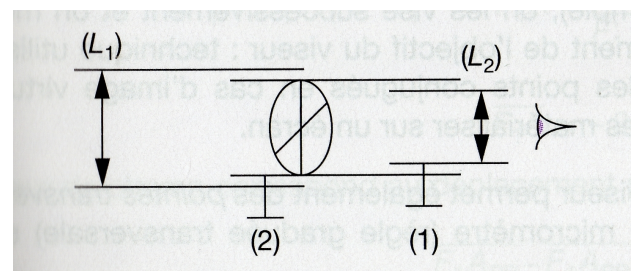
Pour régler le collimateur, il suffit d'utiliser une lunette préalablement mise au point à l'infini. L'image du réticule objet par le système {collimateur–lunette} doit être nette. Si la lunette possède elle-même un réticule, il faut vérifier que les deux réticules se superposent. Il faut faire attention aux erreurs de parallaxe comme dans le cas du réglage de la lunette à l'infini par auto collimation.

Les schémas ci-dessous illustrent ce qui vient d'être dit.

Collimateur



Lunette réglée à l'infini



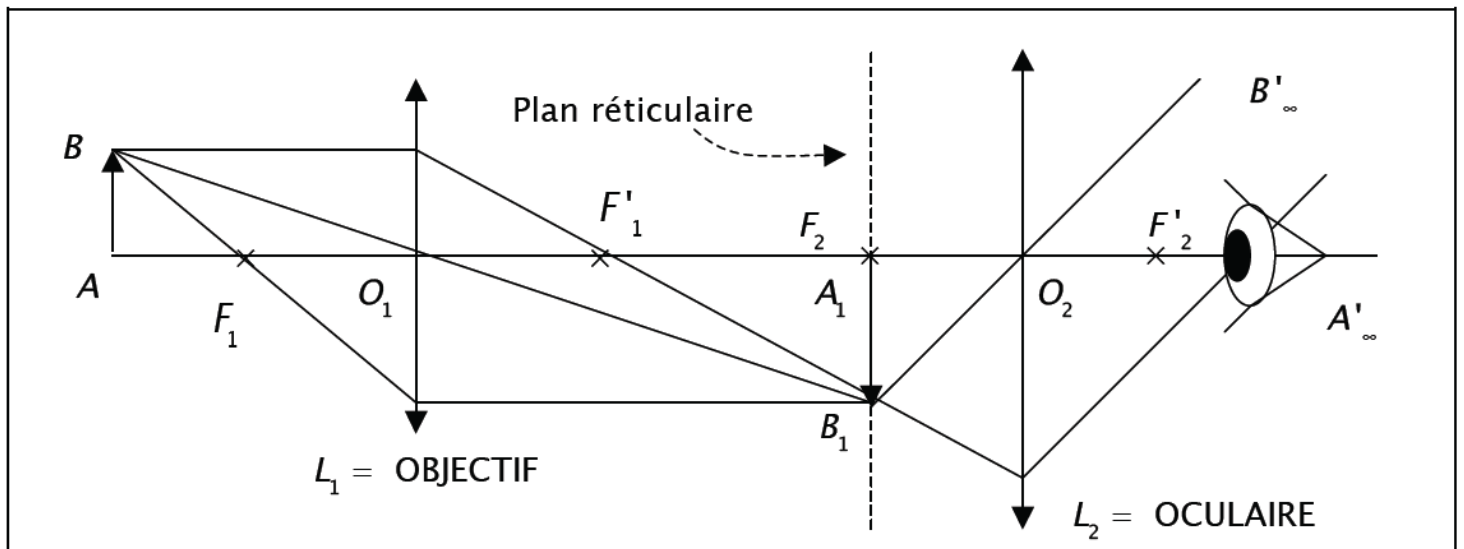
Expérience (par les élèves) : Réglage du collimateur.

8) Viseur ou lunette à frontale fixe

Un viseur est une lunette réglée de façon à donner une image nette d'un objet à **distance finie**.

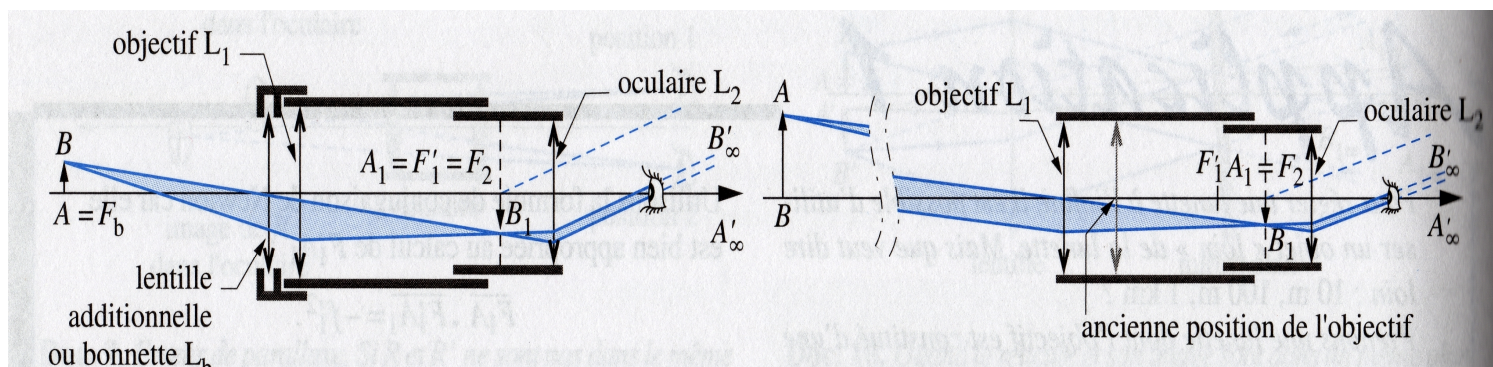
Un viseur permet de faire des **pointés longitudinaux**, c'est-à-dire de mesurer la position d'objets sur un banc d'optique (voir TP tournants d'optique) et de faire des **pointés transversaux**, c'est-à-dire de mesurer la taille d'objets dans une direction perpendiculaire au banc d'optique.

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.



Il y a deux façons de régler un viseur (voir schéma ci-dessous):

- Par ajout d'une lentille convergente où **bonnette** L_0 à une lunette réglée sur l'infini. L'objet visé doit nécessairement se situer dans le plan focal objet de la bonnette.
- En augmentant la distance {objectif-(réticule-oculaire)}.



a) Ajout d'une bonnette (lentille additionnelle)

b) Augmentation de la distance objectif-oculaire



Expérience (par les élèves) : Réglage du viseur.

TP COURS OPTIQUE GEOMETRIQUE :
CONNAISSANCE DE BASES EN OPTIQUE GEOMETRIQUE
LISTE DU MATERIEL

Classe de PTSI, Vendredi 25 septembre et vendredi 2 octobre.

Pour l'enseignant :

- Banc d'optique avec lampe (Na), lampe (Hg) + prisme à vision directe + écran blanc + Laser.
- Même banc d'optique pour former une image : lampe de projection + un objet (un F par exemple) + diaphragme + une grande lentille qui a des aberrations géométriques, + écran blanc.
- Expérience du mirage.

Pour les élèves :

- Jeu de lentilles et jeu de miroirs.
- Le grand miroir.
- Banc d'optique avec lampe et objet en F + écran + jeu de lentilles associées (tout ce qu'il faut pour former des images)
- Jeu de lunettes et de collimateur.