

# ŒIL, LOUPE ET LUNETTE

«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).

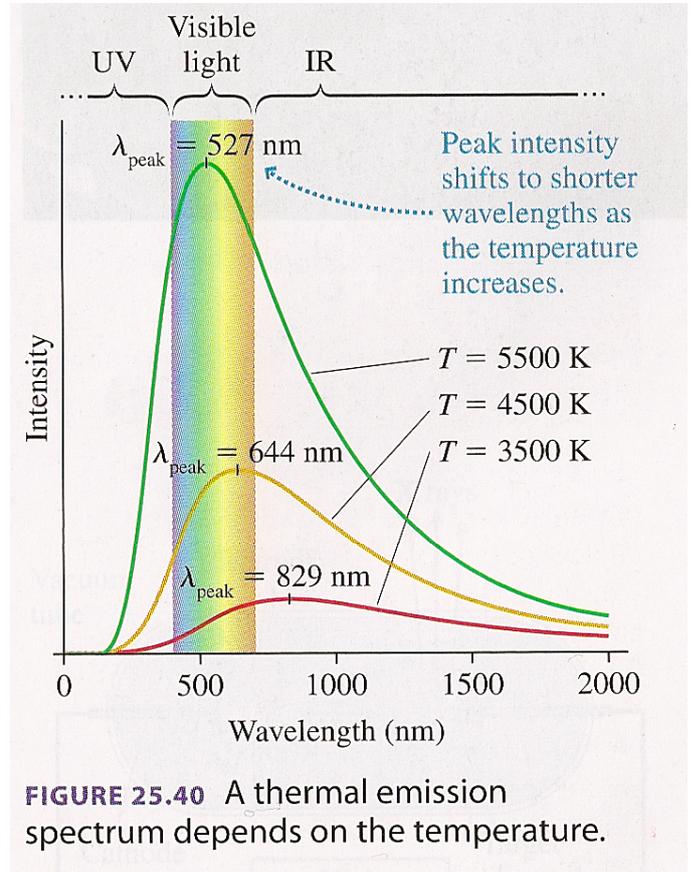
La décomposition de la lumière émise suite à la désexcitation d'atomes par un prisme ou un réseau donne un ensemble de raies caractéristiques de la composition de la source. On utilise en pratique les lampes au sodium ( $Na$ ) et au mercure ( $Hg$ ).

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

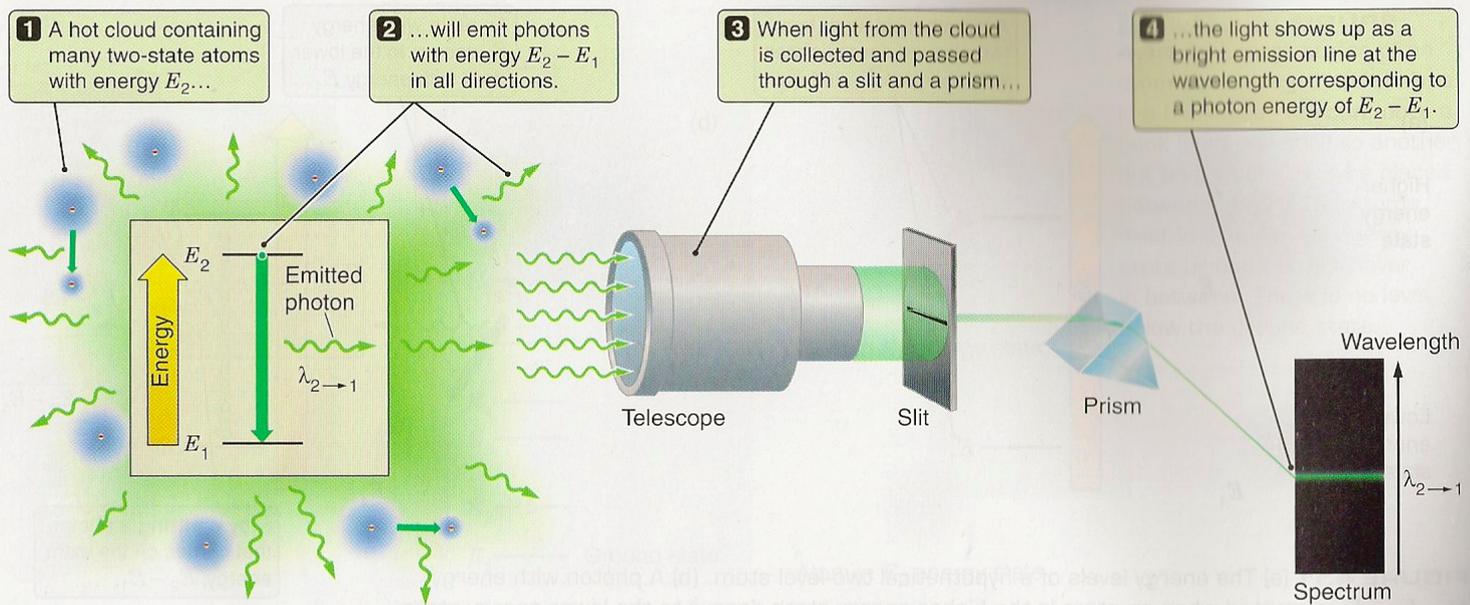
### 1.2 Sources à spectre continu, lumière « blanche »

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 ( $0,4 \mu\text{m} - 0,8 \mu\text{m}$ ).

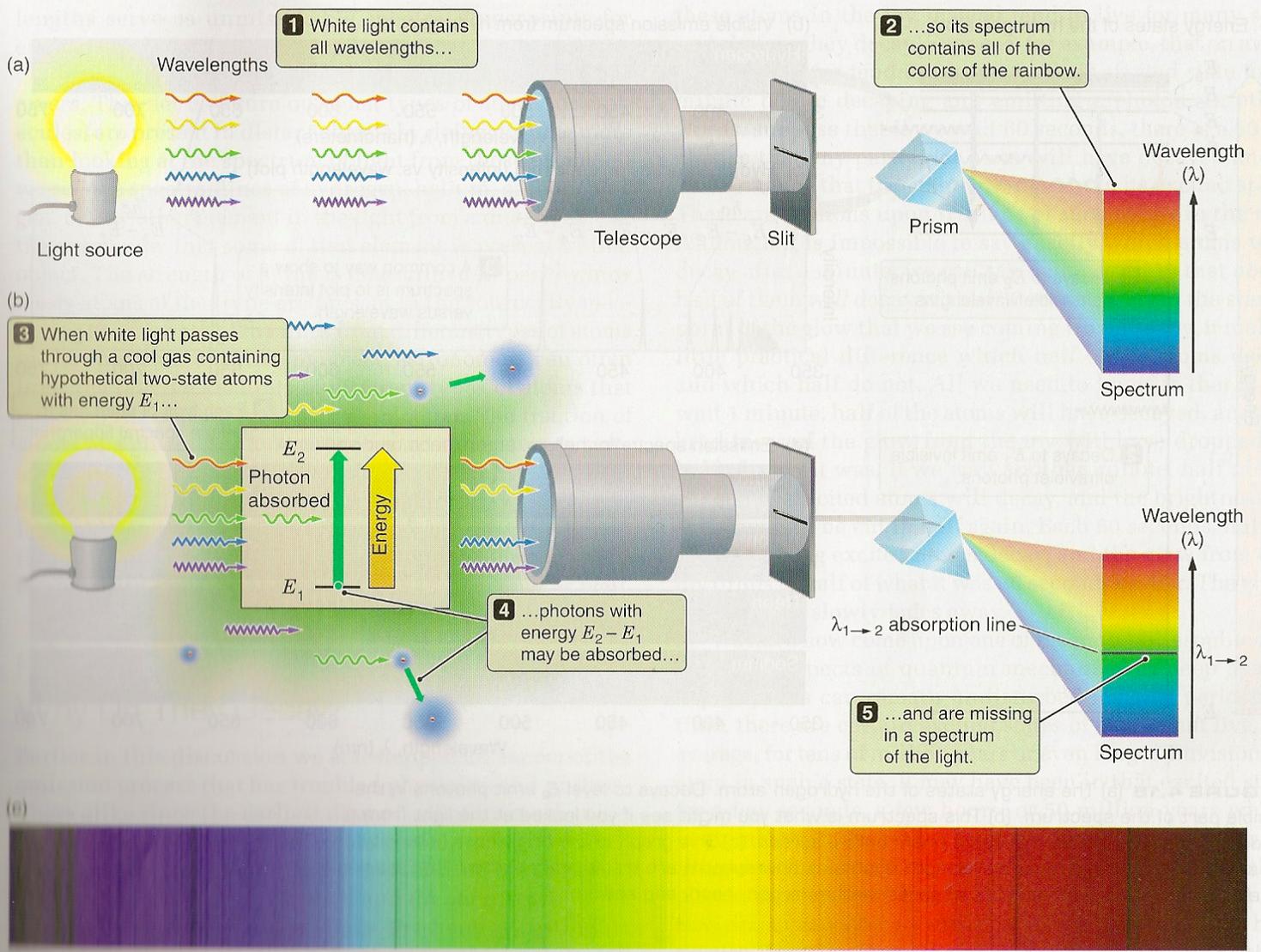
**Expérience:** Lanterne de projection + prisme à vision directe.



**FIGURE 25.40** A thermal emission spectrum depends on the temperature.



**FIGURE 4.12** 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.

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

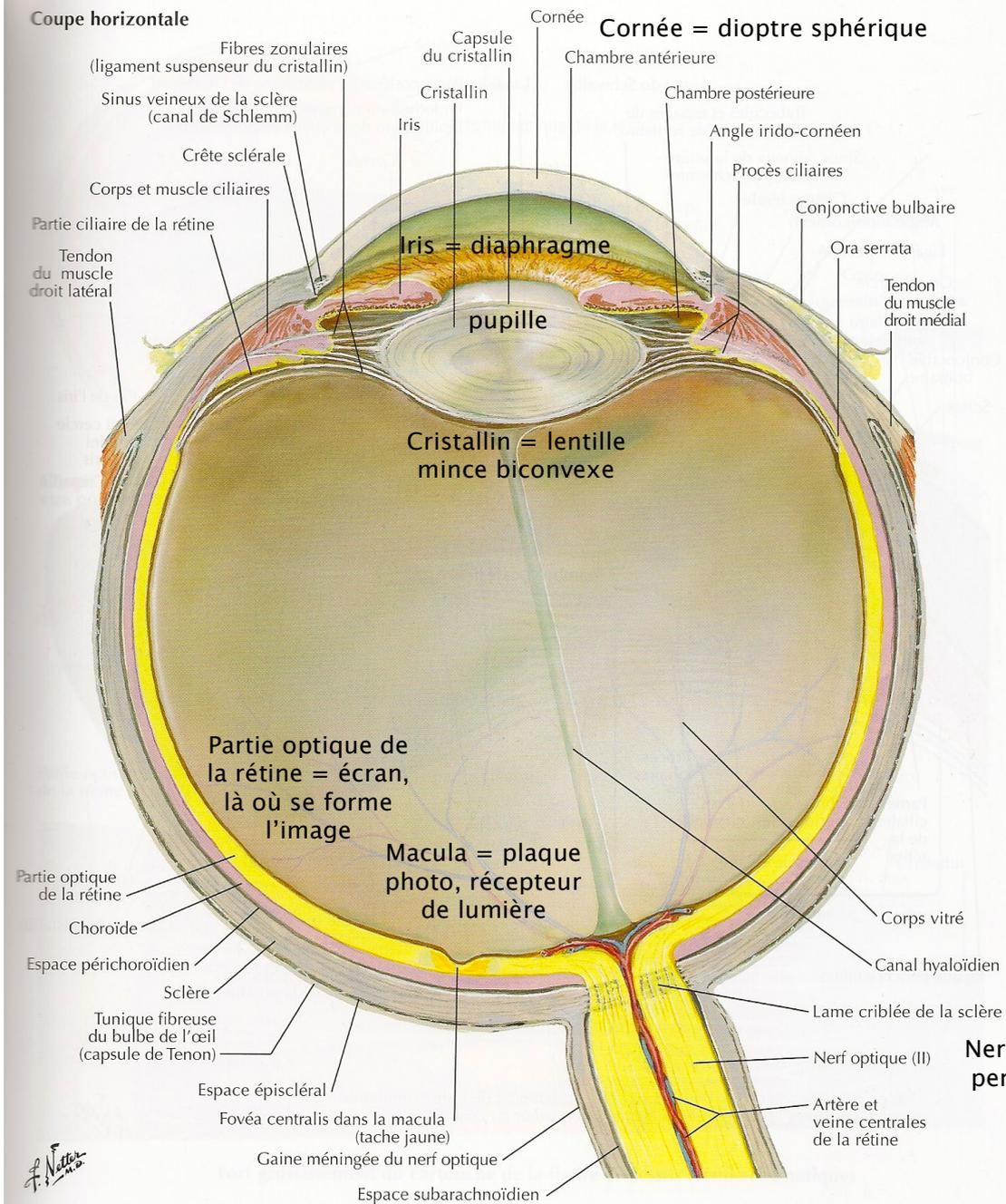
Une source laser produit un faisceau de lumière **quasi monochromatique** (une seul « couleur ») et **très fin** (dirigé dans une direction bien précise), on dit que le laser est une source très cohérente de lumière. Le laser hélium-néon que l'on utilise habituellement en TP émet à  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  (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  $f \approx 50 \text{ mm}$  environ, c'est l'objectif de l'œil

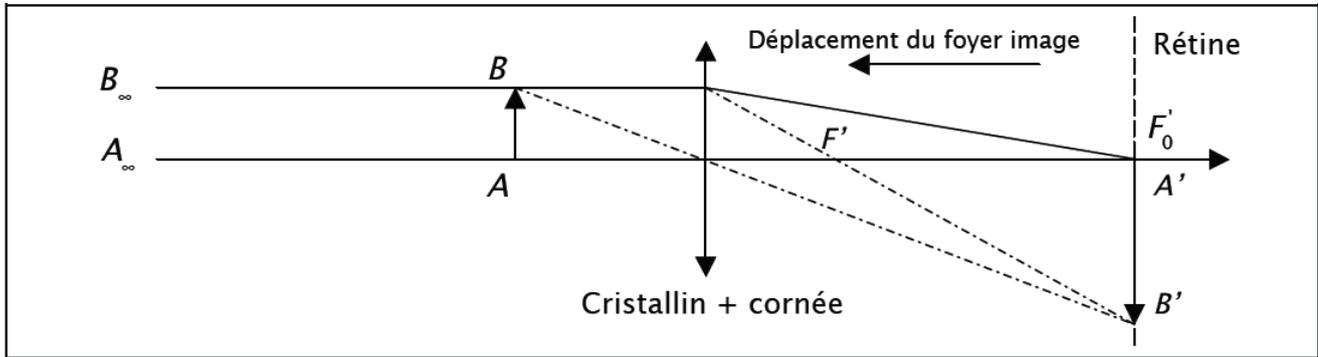


L'œil se comporte comme un appareil photo pour l'observation d'objet lumineux.

## 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.



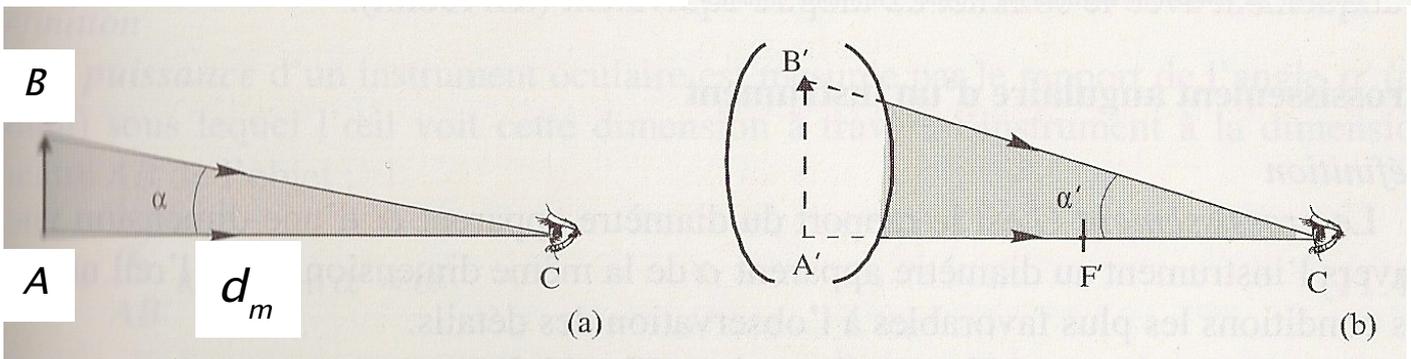
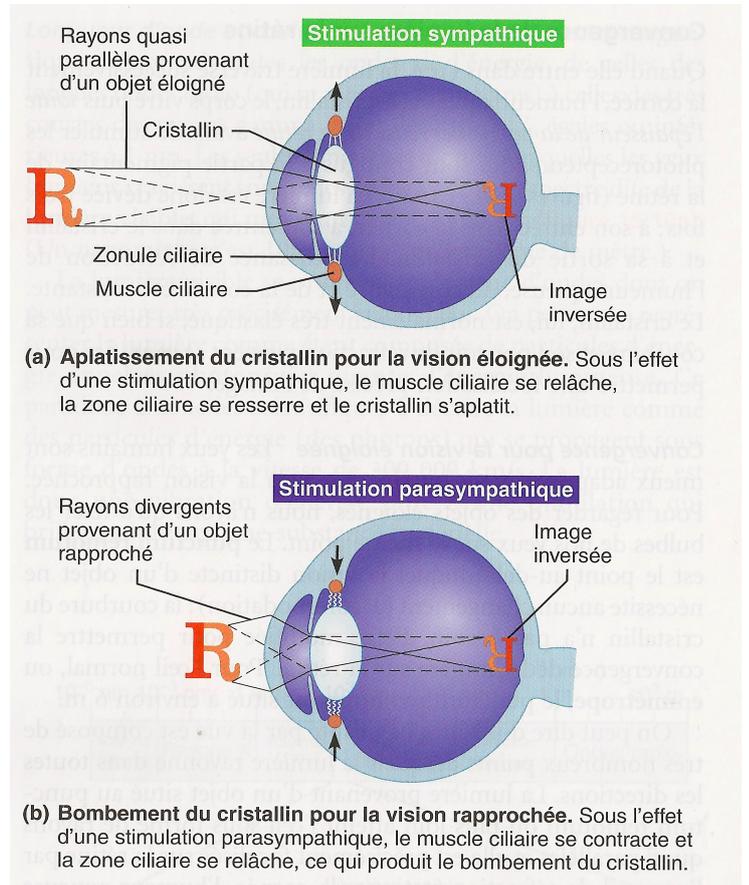
b) Pour voir un objet  $A$  à distance finie nette, l'œil doit ramener son foyer de  $F_0'$  à  $F'$ , le cristallin se bombe. La face antérieure de la lentille biconvexe associée se bombe, il s'agit du **phénomène d'accommodation**, on ressent un effort physiologique.

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**.

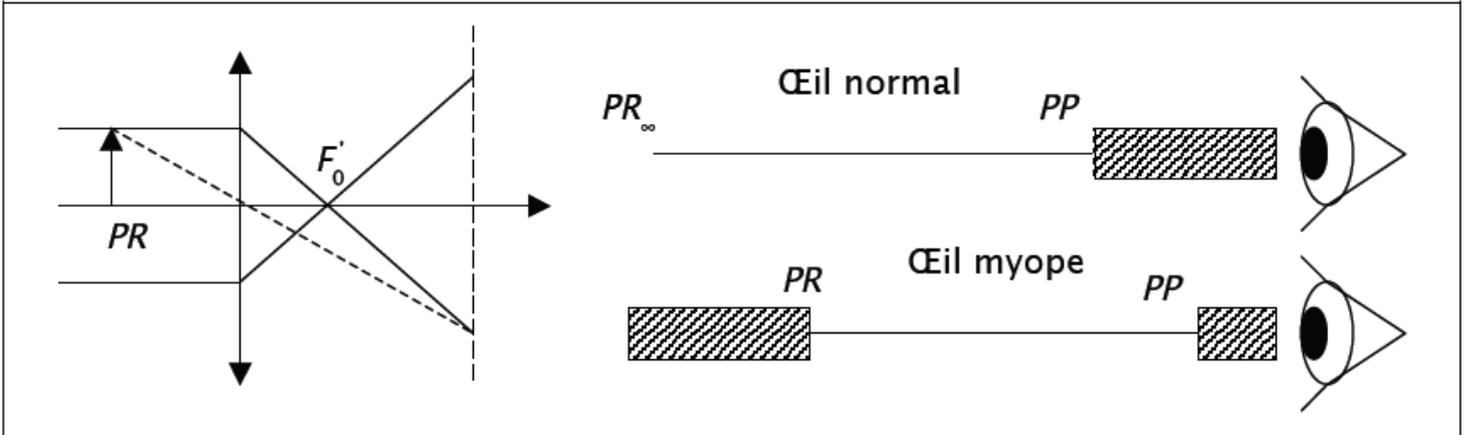
$$\tan \alpha \approx \alpha = \frac{AB}{d_m} = 4 AB$$

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



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.

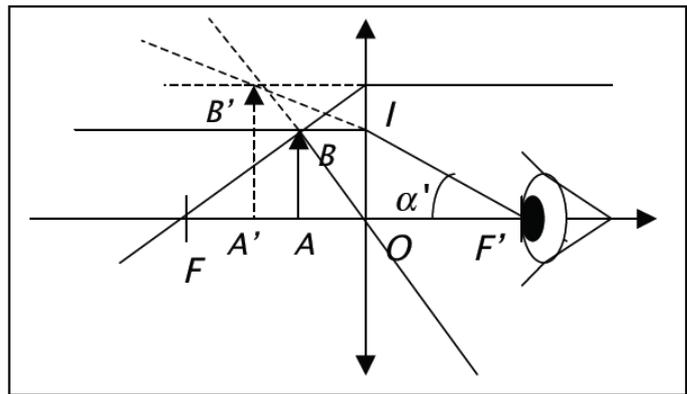
**La presbytie** est liée au vieillissement de l'œil qui perd sa faculté d'accommodation. L'œil ne voit bien que de loin c'est-à-dire vers son  $PR$ . Il voit mal les objets proches. Cela nécessite l'utilisation de plusieurs lentilles correctrices suivant la distance objet-œil. On utilise des verres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

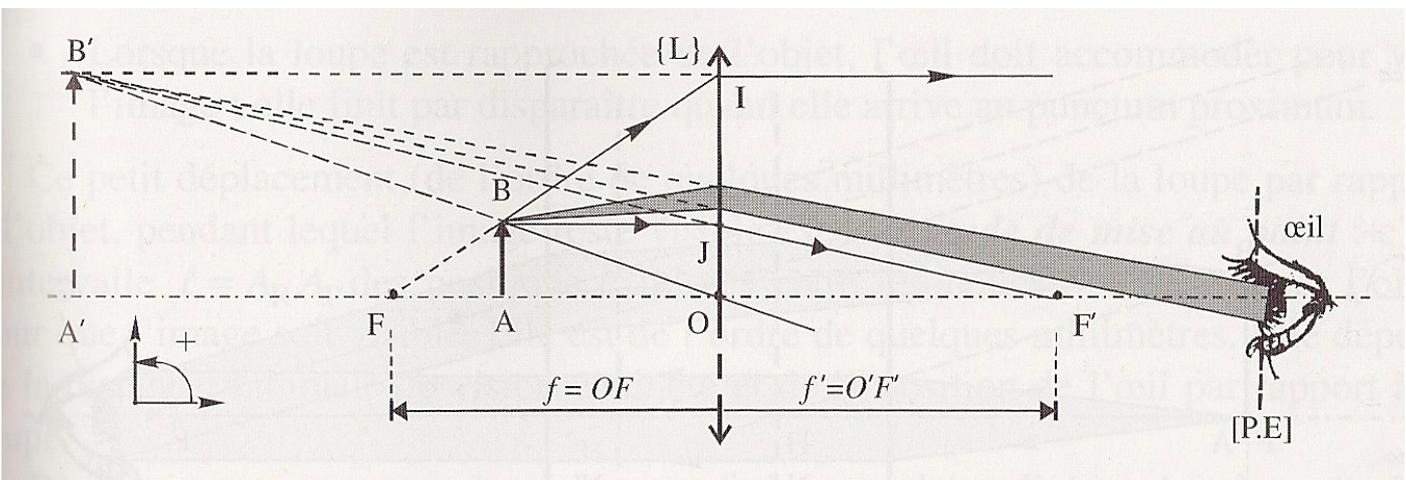
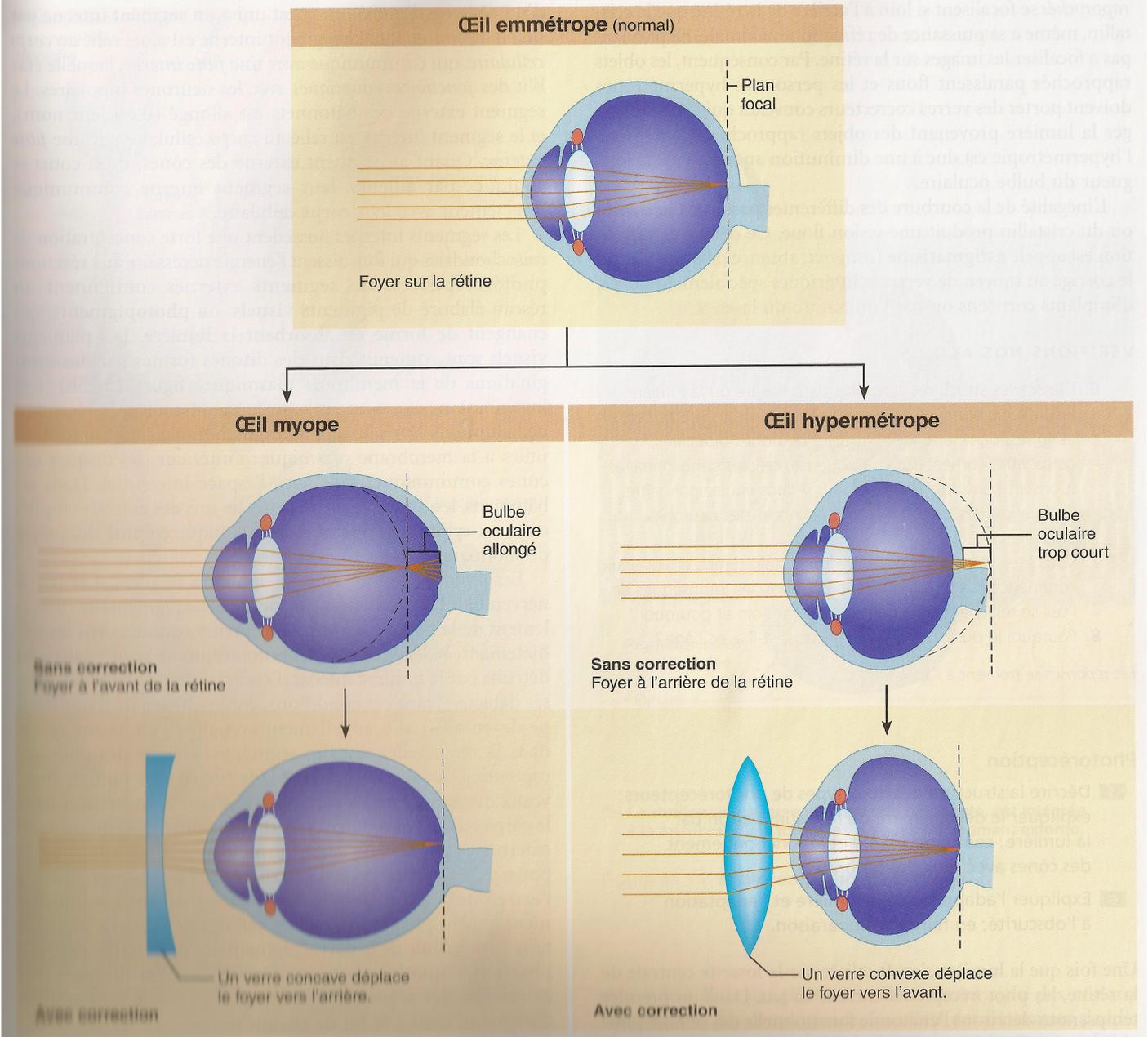
**L'astigmatisme** est lié à un défaut de symétrie de révolution de l'œil, il y a des aberrations géométriques. La lentille correctrice n'est pas sphérique.

## 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  $\alpha_m \approx 5.10^{-4}$  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

Avec la loupe

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

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,  $G_c = 10$ .

### 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 .

## **III - LUNETTES DE VISEES A L'INFINI**

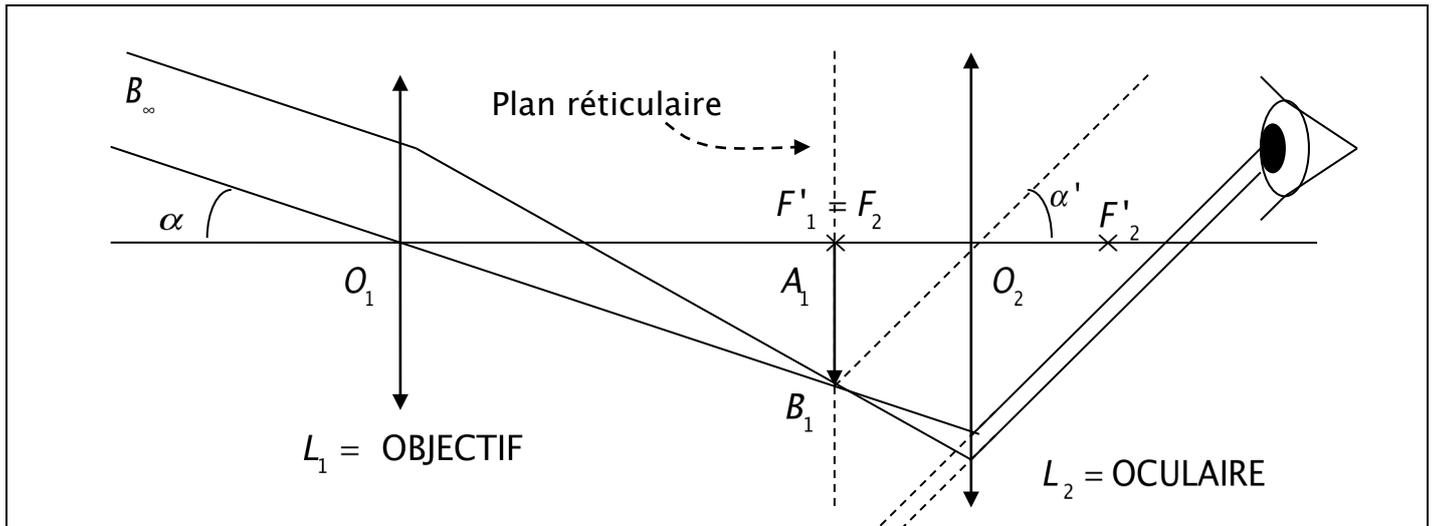
### **3.1 Constitution**

⇒ **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).

### 3.2 Schématisation



Le schéma ci-dessus montre la formation de l'image  $B'_\infty$  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  $F'_2$ .

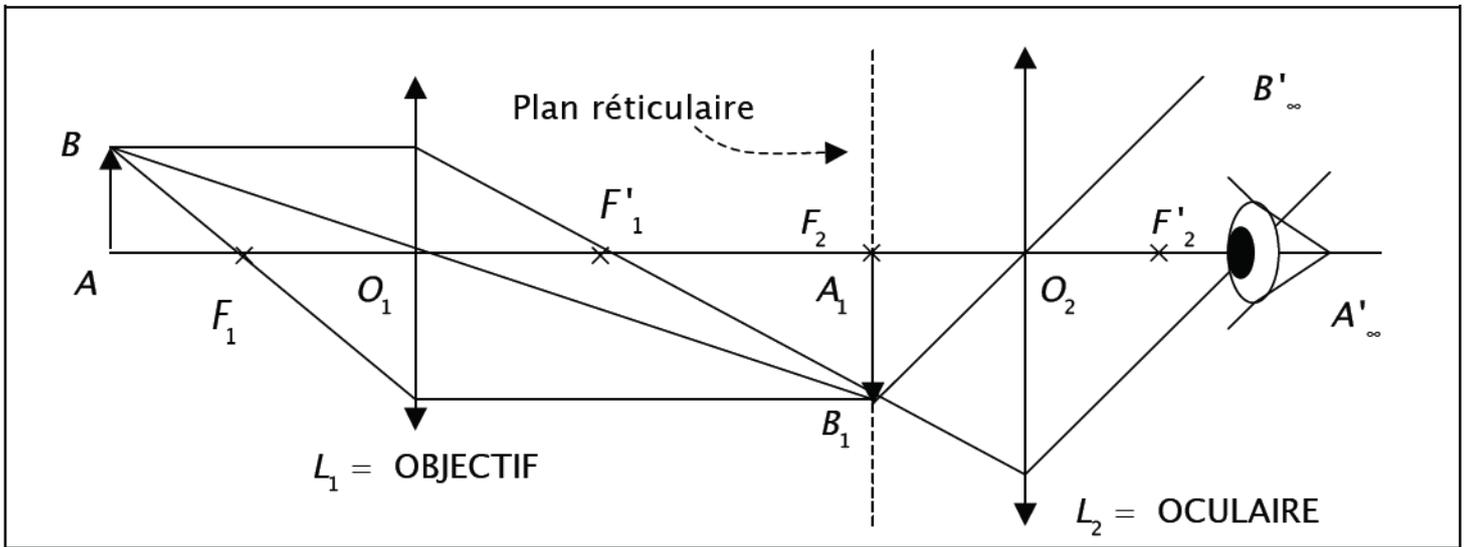
Par définition le grossissement  $G$  de la lunette correspond à  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ , comme pour la loupe.

$$\tan \alpha \approx \alpha \approx \frac{\overline{A_1 B_1}}{f'_1} \text{ et } \tan \alpha' \approx \alpha' \approx -\frac{\overline{A_1 B_1}}{f'_2} \text{ donc : } \boxed{G = -\frac{f'_1}{f'_2}}$$

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.

## IV – 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.



## ANNEXE

**Table 22.6** Ray diagrams for various lenses.

Situation	Ray diagram and description of the image	Application
$s > 2f$ Object 	 Real, inverted, reduced image	Camera, human eye
$2f > s > f$ Object 	 Real, inverted, enlarged image	Digital projector
$f > s$ Object 	 Virtual, upright, enlarged image	Magnifying glass
$s > f$ Object 	 Virtual, upright, reduced image	Glasses for seeing distant objects
$f > s$ Object 	 Virtual, upright, reduced image	No known applications