

---

## Instruments optiques

---

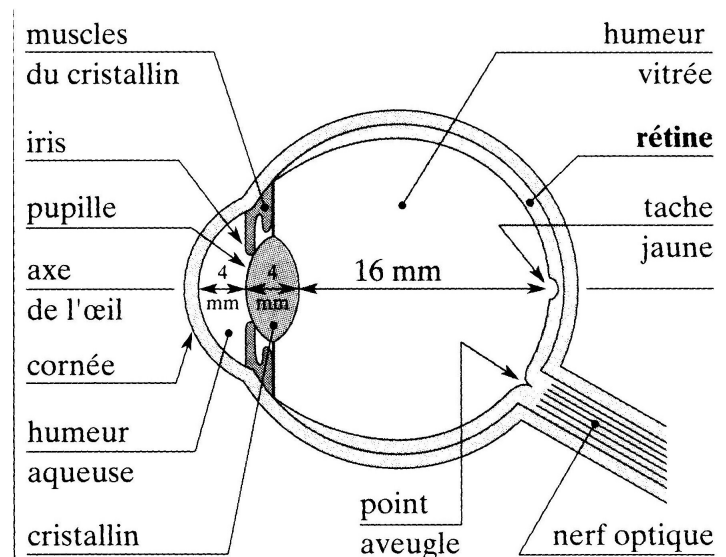
### Table des matières

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>L'oeil</b>  | <b>2</b> |
| 1.1      | Modèle optique de l'oeil . . . . .                               | 2        |
| 1.2      | Phénomène d'accommodation . . . . .                              | 2        |
| 1.3      | Punctum remotum(PR)et punctum proximum(PP)de l'oeil normal . . . | 2        |
| 1.4      | Diamètre apparent . . . . .                                      | 3        |
| 1.5      | Limite de résolution . . . . .                                   | 3        |
| 1.6      | Défauts de l'oeil . . . . .                                      | 4        |
| 1.6.1    | Myopie . . . . .   | 4        |
| 1.6.2    | Hypermétropie . . . . .  | 4        |
| 1.6.3    | Presbytie . . . . .  | 4        |
| 1.6.4    | Astigmatisme . . . . .   | 4        |
| <b>2</b> | <b>Loupe</b>   | <b>4</b> |
| 2.1      | Définition . . . . .   | 4        |
| 2.2      | Profondeur du champ . . . . .                                    | 5        |
| 2.3      | Performances d'une loupe . . . . .                               | 5        |
| 2.3.1    | Puissance d'une loupe . . . . .                                  | 5        |
| 2.3.2    | Pouvoir séparateur . . . . .                                     | 6        |
| 2.3.3    | Grossissement . . . . .  | 6        |
| <b>3</b> | <b>Collimateur</b>   | <b>7</b> |
| 3.1      | Définition . . . . .   | 7        |
| 3.2      | Réglage du collimateur . . . . .                                 | 8        |
| <b>4</b> | <b>Lunette</b>   | <b>8</b> |
| 4.1      | Éléments de base d'une lunette . . . . .                         | 8        |
| 4.2      | Lunette de visée à l'infini ou lunette afocale . . . . .         | 8        |
| 4.3      | Lunette autocollimatrice . . . . .                               | 9        |
| 4.4      | Lunette à frontale fixe ou Viseur . . . . .                      | 10       |

# 1 L'oeil

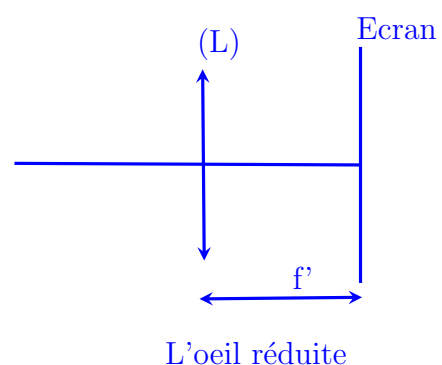
## 1.1 Modèle optique de l'oeil

Quel que soit l'instrument utilisé, l'élément finale est en général l'oeil.



| Elément optique  | Fonction  |
|--|---|
| Objectif : dioptré sphérique(cornée) et lentille mince biconvexe(cristallin) | formation de l'image                                    |
| Diaphragme : pupille   | Réglage de la quantité de lumière pénétrant dans l'oeil |
| Récepteur de la lumière : rétine   | Impression de l'image(écran)                            |
| Nerf optique   | perception de l'image                                   |

- **conclusion** : L'oeil est une lentille convergente à distance focale variable (l'écran est placée toujours dans le plan focal image de la lentille)

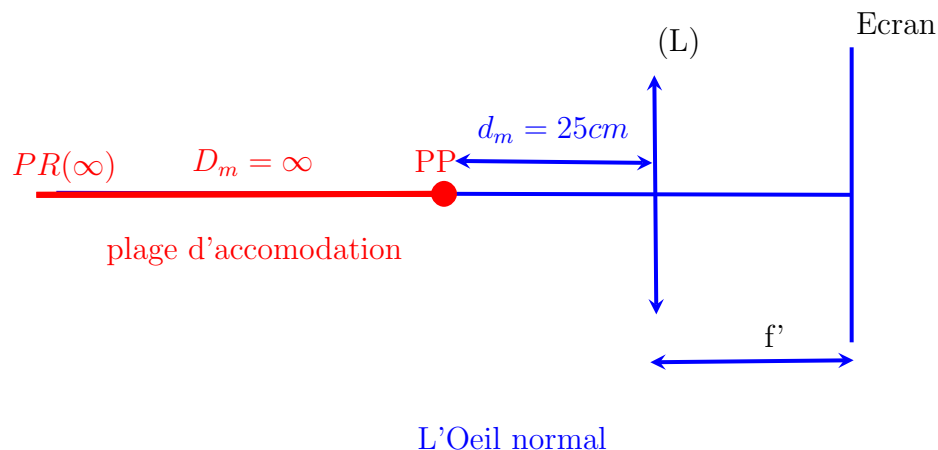


## 1.2 Phénomène d'accommodation

Pour qu'un objet soit perçu par l'oeil, il faut que son image soit reçue sur la rétine. Cette condition est réalisée pour la vision à l'infini : le cristallin est alors au repos. Pour observer un objet rapproché, l'oeil accommode : les muscles du cristallin augmentent sa vergence en bombant la face antérieure de la lentille biconvexe associée.

## 1.3 Punctum rémotum(PR)et punctum proximum(PP)de l'oeil normal

- **punctum rémotum ( $PR$ )** : le point le plus éloigné pouvant donner une image nette sur la rétine l'œil étant au repos. Pour l'œil normal (**emmétrope**) le  $PR$  est à l'infini : la distance maximale de vision distincte  $D_m$  tend vers l'infini pour l'œil normal
- **punctum proximum  $PP$**  : le point le plus proche pouvant donner une image nette sur la rétine, l'œil accommodant au maximum. Pour l'œil normal le  $PP$  est à  $25cm$  de l'œil : la distance minimale de vision distincte  $d_m$  est de  $25cm$  pour l'œil normal.



**Conclusion** : Pour l'œil normal :

- La distance maximale de vision distincte  $D_m = \infty$
- La distance minimale de vision distincte  $d_m = 25cm = \frac{1}{4}m$

## 1.4 Diamètre apparent

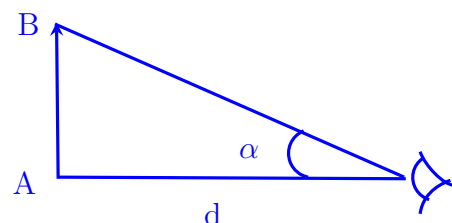
Il représente l'angle  $\alpha$ , sous lequel l'œil nu observe un objet  $AB$  à la distance  $d$

$$\tan \alpha = \frac{AB}{d} \text{ avec } d \gg AB$$

$$\tan \alpha \approx \alpha = \frac{AB}{d}$$

Pour l'œil normal le diamètre apparent maximum est obtenu pour  $d = d_m = 25cm$  donc

$$\tan \alpha_{max} \approx \alpha_{max} = \frac{AB}{d_m} = 4AB$$



## 1.5 Limite de résolution

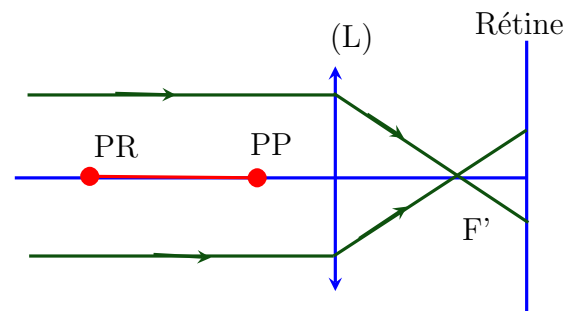
L'œil ne peut séparer deux objets que si leurs images sur la rétine sont suffisamment éloignées pour se former des cônes différents. Il est caractérisé par son pouvoir séparateur angulaire qu'est de l'ordre d'une minute.

pouvoir séparateur angulaire de l'oeil =  $\theta' = \frac{1}{60^\circ} = 3.10^{-4} \text{ rad}$

## 1.6 Défauts de l'oeil

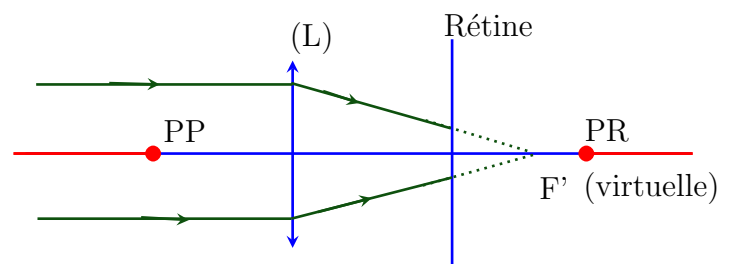
### 1.6.1 Myopie

Le cristallin est trop convergent . Le  $PP$  est plus près que l'oeil normal et le  $PR$  est à distance finie . La lentille correctrice est divergente.



### 1.6.2 Hypermétropie

Le cristallin n'est pas assez convergent . L'hypermétrope doit accommoder pour voir à l'infini, et son  $PP$  est plus éloigné que pour l'oeil normal . La lentille correctrice est convergente



### 1.6.3 Presbytie

L'oeil perd sa faculté d'accommodation et ne voit plus qu'au voisinage de son  $PR$ , c'est à dire de loin .

### 1.6.4 Astigmatisme

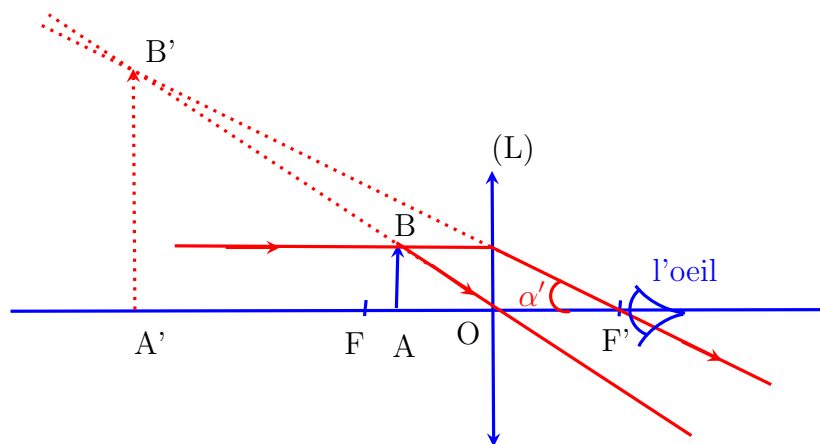
L'oeil présente des défauts de symétrie de révolution sphérique, ce qui se traduit par des aberrations .

## 2 Loupe

### 2.1 Définition

Une loupe est une lentille convergente de courte distance focale qui donne d'un objet réel de petites dimensions une image virtuelle et droite, plus grande que l'objet. Ceci est vérifié si l'objet est placé entre le centre de la lentille et le foyer image  $F'$ . C'est l'instrument d'optique le plus simple qui permet d'augmenter le pouvoir séparateur de l'oeil.

- L'oeil étant placé en générale au foyer image  $F'$ . L'avantage de cette position de l'oeil c'est que l'image est toujours vue sous le même diamètre angulaire  $\alpha'$  quelque soit la position de l'objet entre  $F$  et  $O$  .



## 2.2 Profondeur du champ

Il s'agit d'un intervalle des positions de l'objet tel que l'image soit visible de façon nette par l'oeil .

### • Calcul du profondeur de champ $l$ pour l'oeil normal

L'oeil voit  $A'B'$  nette s'il situe entre le  $PP$  et  $PR$  de l'oeil . la relation de Newton :

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2$$

- Si  $A'$  au  $PR$  :  $\overline{F'A'} \rightarrow \infty \Rightarrow A$  en  $F$
- Si  $A'$  au  $PP$  :  $\overline{F'A'} = -d_m \Rightarrow \overline{FA} = \frac{f'^2}{d_m}$  soit

$$l = \frac{f'^2}{d_m}$$

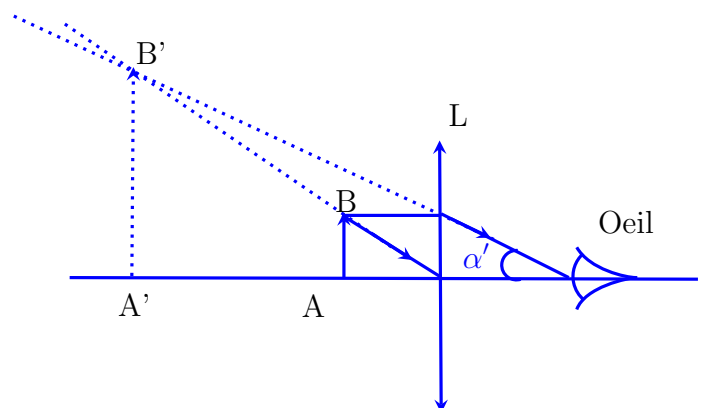
- Les loupes usuelles varient entre 10 et 50 $\delta$  de vergence ( $f'$  entre 10 et 2cm), ce qui conduit à  $l$  variant entre 4 et 0.16cm

## 2.3 Performances d'une loupe

### 2.3.1 Puissance d'une loupe

Soit  $\alpha'$  le diamètre apparent de l'image  $A'B'$ , vue par l'oeil, observant l'objet  $AB$  à travers la loupe . On définit la puissance  $P$  d'une loupe (instrument optique) par

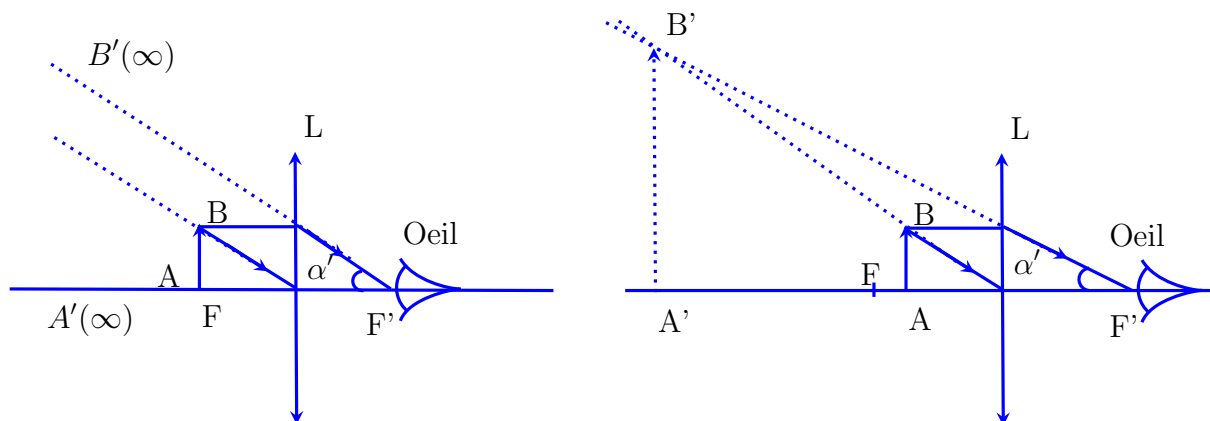
$$P = \frac{\alpha'}{AB} ; \text{unité : } \delta$$



### • Puissance intrinsèque

Considérons les deux cas suivants

- L'image  $A'B'$  à l'infini
- L'oeil au foyer image



Dans ces deux cas :  $\tan \alpha' \approx \alpha' = \frac{AB}{OF'} \Rightarrow P = \frac{\alpha'}{AB}$

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

### Conclusion

Dans les deux cas examinés, la puissance de la loupe ne dépend pas de la dimension de l'objet, elle caractérise la loupe d'où le nom **intrinsèque**. On note cette puissance par  $P_i$ .

### 2.3.2 Pouvoir séparateur

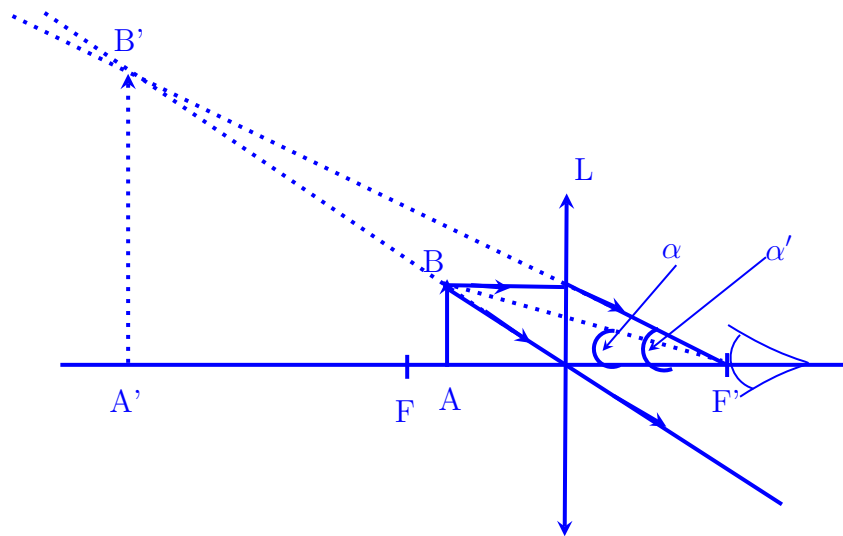
L'œil ne peut distinguer deux objets que si leurs images se forment sur des cellules rétiniennes différentes. Cela nécessite un diamètre angulaire minimal  $\alpha_m$  de l'ordre de  $3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$ .

### 2.3.3 Grossissement

**Définition** : Le **grossissement** est le rapport entre le diamètre apparent de l'image à travers la loupe  $\alpha'$  et le diamètre apparent de l'objet  $\alpha$ , observé à l'œil nu donc

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

**Le grossissement commercial** est défini pour une image vue au  $PR$  à travers l'instrument et un objet vu au  $PP$  à l'œil nu.



- Pour le grossissement commercial : l'objet est dans le  $PP$  de l'Oeil et l'image dans le  $PR$

$$G_c = \frac{\alpha'}{\alpha} \text{ et } P_i = \frac{\alpha'}{AB} = \frac{1}{f'}$$

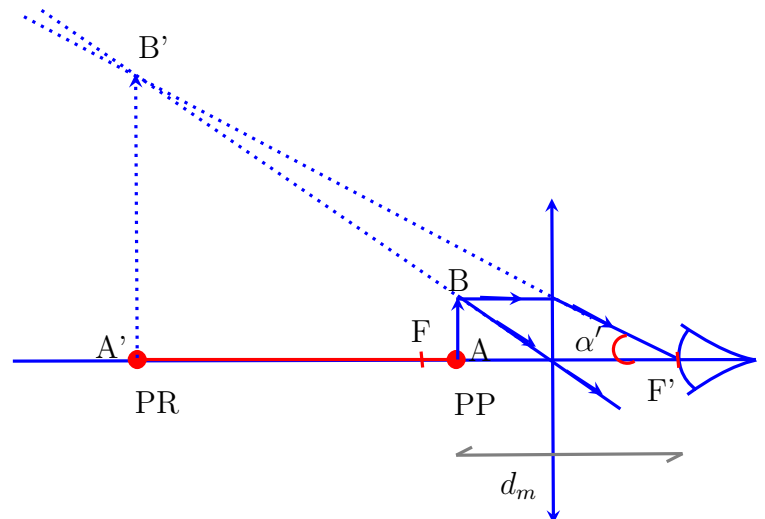
$$\alpha = \frac{AB}{d_m} \text{ donc}$$

$$G_c = P_i \cdot d_m$$

- Pour l'oeil normal

$$d_m = \frac{1}{4}m$$

$$G_c = \frac{P_i}{4}$$

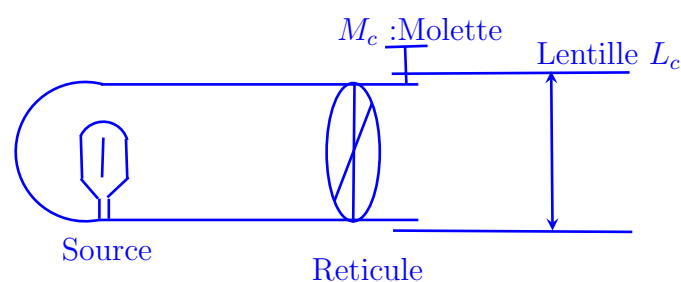


### 3 Collimateur

#### 3.1 Définition

Le collimateur est un système optique permettant d'obtenir un objet à l'infini. Il est constitué d' :

- Une source d'éclairage
- Un reticule (deux fils ou croix)
- Une lentille convergente  $L_c$  (objectif du collimateur)



### 3.2 Réglage du collimateur

Le réglage de collimateur consiste à amener le réticule au foyer objet  $F_c$  à une molette ( $M_c$ )

$$\text{Réticule en } F_C \xrightarrow{L_C} A'_\infty$$

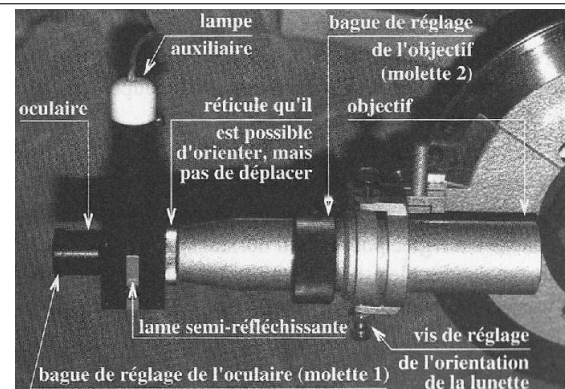
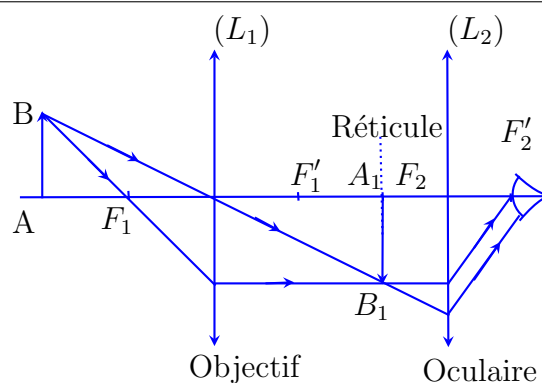
Cette image réelle joue le rôle d'un objet virtuel à l'infini

## 4 Lunette

### 4.1 Éléments de base d'une lunette

Les lunettes sont composées d' :

- Un objectif
- Un oculaire
- Un réticule



L'objectif donne d'un objet (AB) une image intermédiaire ( $A_1B_1$ ). L'oculaire permet l'observation de l'image intermédiaire ( $A_1B_1$ ), il en donne une image finale ( $A'B'$ ). Si ( $A_1B_1$ ) est dans le plan focal objet de l'oculaire, ( $A'B'$ ) est à l'infini (vision sans accommodation pour l'oeil normal). Le réticule est un ensemble de 2 fils à angle droit, il est placé dans le plan focal objet de l'oculaire.

### 4.2 Lunette de visée à l'infini ou lunette afocale

La lunette afocale permet de voir nets des objets à l'infini.

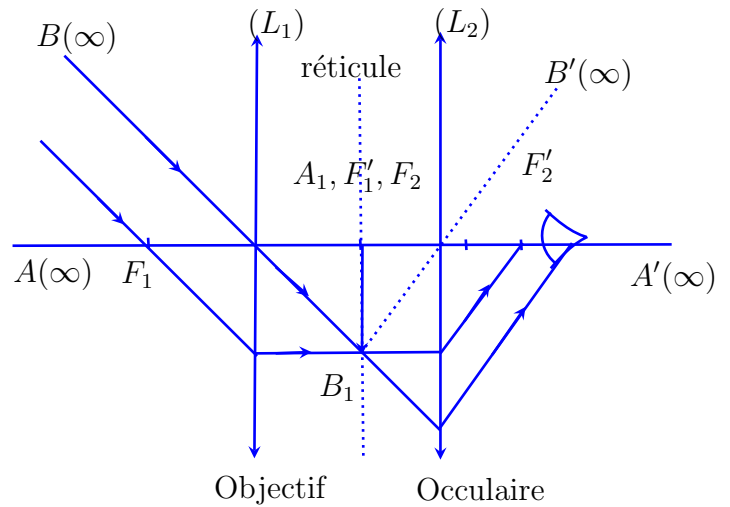
- L'objectif donne de l'objet  $AB$  pointé à l'infini une image  $A'B'$  dans son plan focal image.
- L'oculaire permet l'observation simultanée de cette image et du réticule. Une lunette est réglée si l'oeil peut voir nette l'image de l'objet pointé et celle du réticule sans effort d'accommodation, l'image finale est alors à l'infini. L'image intermédiaire et le plan du réticule sont dans le plan focal objet de l'oculaire.



Le réglage de la lunette se fait en deux étapes :

• **Premier réglage**

Il consiste à modifier la distance oculaire-réticule pour amener le réticule dans le plan focal objet de l'oculaire, on voit alors le réticule net sans accommoder, un oeil normal regardant à l'infini, placé devant la lunette, voit le réticule sans effort.



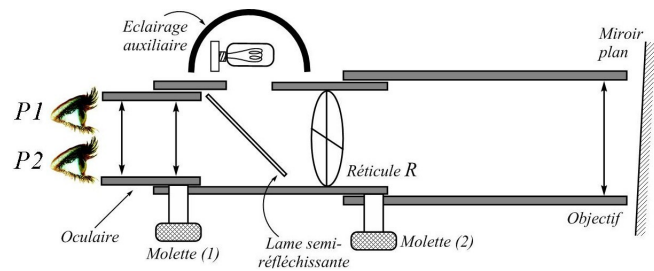
• **Deuxième réglage : Tirage de la lunette à l'infini**

Il consiste à modifier la distance entre l'objectif et le système réticule-oculaire pour mettre en coïncidence le plan focal image de l'objectif et le plan du réticule. Ce réglage peut se faire en pointant un objet à l'infini.

### 4.3 Lunette autocollimatrice

Il n'est pas toujours facile au laboratoire de viser un objet à l'infini. On le fabrique par réflexion sur un miroir.

Une lunette de visée à l'infini peut également se régler par autocollimation, c'est-à-dire par la visée de l'image de réticule à l'infini grâce à un système objectif et miroir.



$$\text{Réticule } R \xrightarrow{\text{objectif } L_1} \infty \xrightarrow{\text{Miroir}} \infty \xrightarrow{\text{Objectif } L_1} R'$$

Si le réticule dans le plan focal objet ( $\pi_2$ ) de l'Oculaire, est également dans le plan focal image ( $\pi'_1$ ) de l'Objectif (ce qu'on veut), alors, son image à travers le système optique Objectif-Miroir-Objectif se formera dans son propre plan. Alors, R et R', le réticule et son image obtenue par autocollimation, deviennent des objets pour l'Oculaire ( $L_2$ ). Leurs images finales  $R_f$  et  $R'_f$  sont dans le même plan conjugué de ( $\pi'_2$ ) (c'est-à-dire, à l'infini).

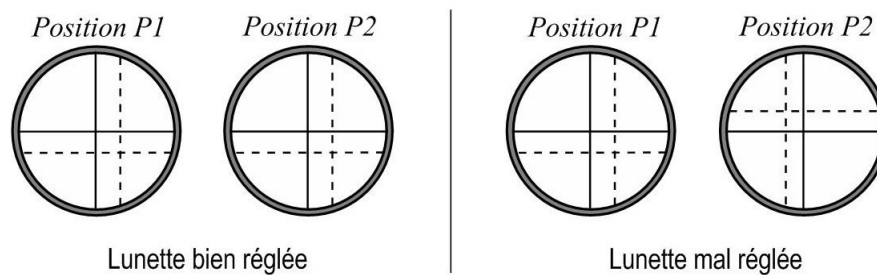
$$R = R' \xrightarrow{\text{Oculaire } L_2} R_f = R'_f$$

**Conclusion** : lorsqu'on voit en même temps  $R_f$  et  $R'_f$  nets, c'est que R et R' sont dans le même plan, donc  $\pi'_1 = \pi_2$ , on dit que l'Objectif est réglé.

• **Remarque** : Ce réglage est relativement difficile mais il est très important et nécessite donc une grande précision.

Si la lunette est mal réglée, R et R' ne sont pas dans le même plan. Alors, lorsqu'on

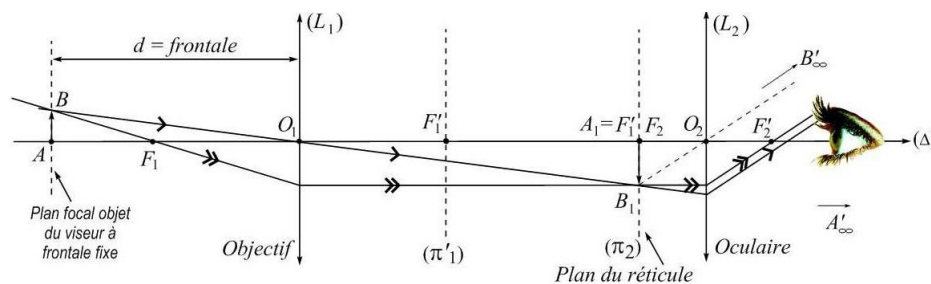
déplace l'œil latéralement devant l'Oculaire,  $R'_f$  se déplace par rapport à  $R_f$ . C'est l'« erreur de parallaxe ».



#### 4.4 Lunette à frontale fixe ou Viseur

Un viseur donne une image nette d'un objet à distance finie.

Cela revient à dérégler une lunette afocale en modifiant son tirage pour avoir  $F'_1 \neq F_2$



##### • Réglage pour un œil normal

Deux méthodes pour obtenir un viseur à partir d'une lunette de visée à l'infini :

- placer devant  $(L_1)$  une lentille additionnelle appelée « bonnette » ;
- augmenter le tirage (la distance) Objectif-Réticule-Oculaire :  
plus on veut observer un objet proche du viseur et plus il faut augmenter cette distance