

# Optique Géométrique

---

## CHAPITRE 7

# L'œil, Loupe et Lunette

Dr N'CHO Janvier Sylvestre

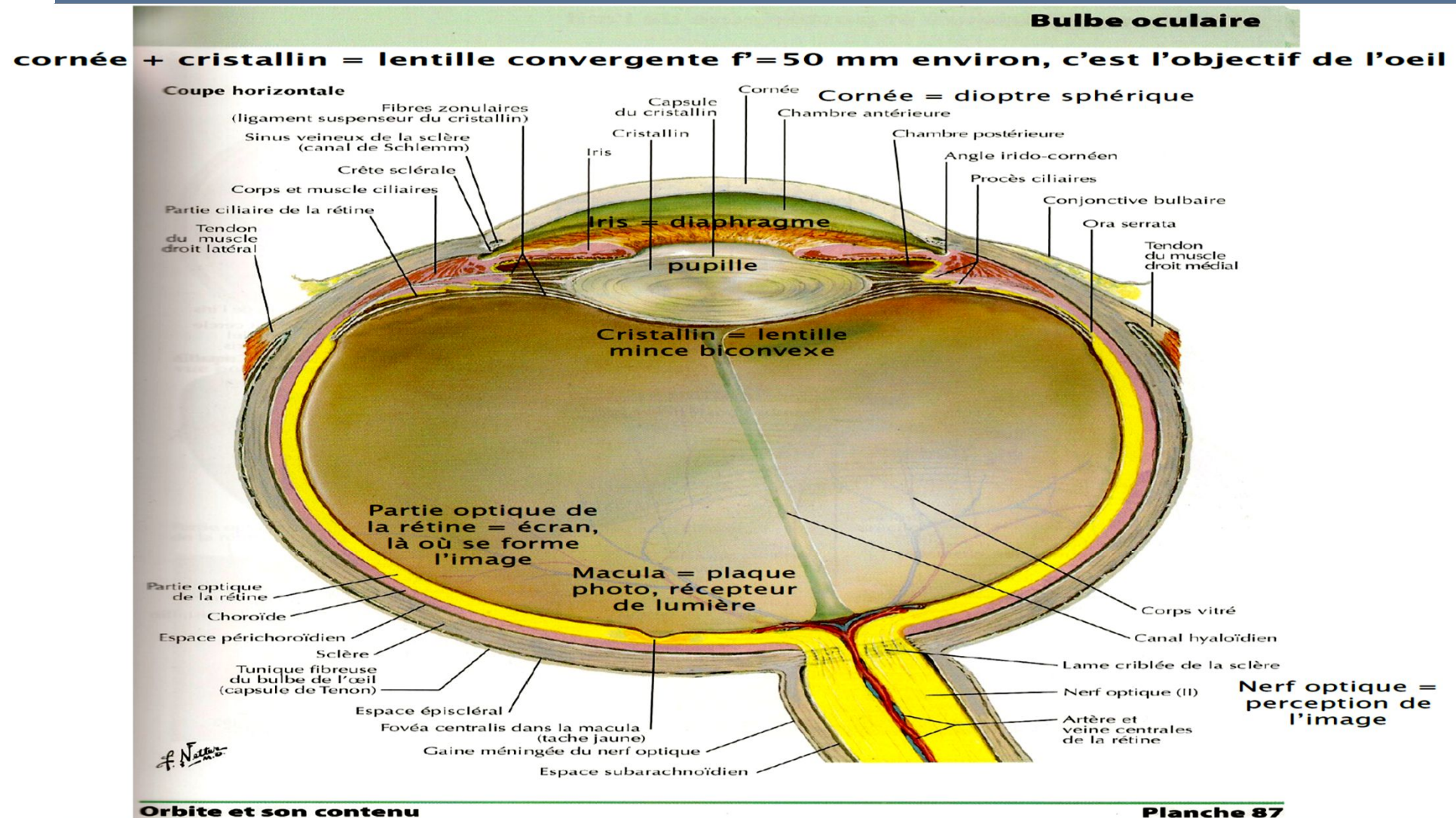
---

---

# Description et modélisation

---

# Modèle optique simple de l'œil (1)



# Modèle optique simple de l'œil (2)

---

L'œil est l'organe de la vision. Il a sensiblement la forme d'une sphère de 20 à 25 mm de diamètre. Il est composé d'une suite de milieux transparents limités par des surfaces qui sont pratiquement centrées sur le même axe.

On rencontre successivement de l'extérieur vers l'intérieur :

- **la cornée** est une membrane transparente d'environ 2 mm d'épaisseur.
- **l'humeur aqueuse** est un liquide transparent d'indice 1,336 (environ 4 mm d'épaisseur).
- **l'iris** est percé de la pupille dont le diamètre est variable (de 2 à 8 mm) et qui joue le rôle de diaphragme c'est-à-dire qui limite la puissance lumineuse pénétrant dans l'œil.

# Modèle optique simple de l'œil (3)

- **le cristallin** est un muscle assimilable à une lentille mince biconvexe (environ 4 mm d'épaisseur et 10 mm de diamètre) dont la distance focale est variable selon sa contraction. Indices : 1,36 sur les bords et 1,42 au centre. Il donne d'un objet une image renversée sur la rétine.
- **l'humeur vitrée** (ou corps vitré) : substance transparente gélatineuse d'indice 1,336 (environ 15 mm d'épaisseur).
- **la rétine** est constituée de cellules sensibles à la lumière. Elle tapisse le fond de l'œil. Elle sert d'écran sur lequel se forme l'image.

**On modélise l'œil par une lentille mince convergente de vergence variable correspondant au cristallin et formant une image sur un écran fixe correspondant à la rétine.**

---

# Caractéristiques optiques

# Limite de résolution angulaire

---

L'œil ne distingue deux détails différents de l'objet que si leur image se forme sur deux cellules différentes de la rétine. Dans de bonnes conditions d'éclairement (ni trop sombre, ni trop lumineux), **l'œil distingue des détails d'environ 1 minute d'arc, soit  $3 \cdot 10^{-4}$  rad.** Cette valeur constitue la **limite de résolution ou pouvoir séparateur de l'œil**. Elle n'est atteinte que dans des conditions d'éclairement et de contraste optimales.



# Plage d'accommodation (1)

---

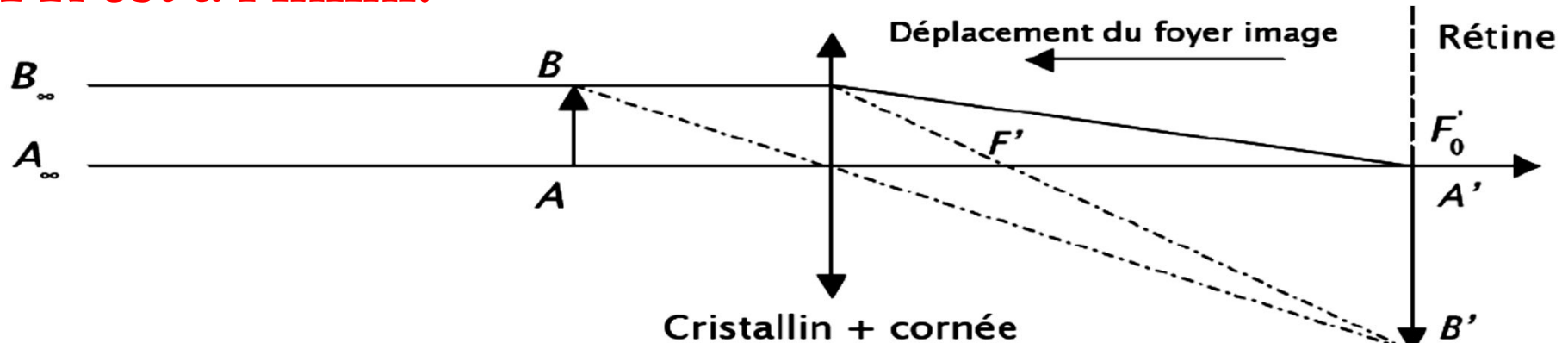
L'œil ne peut voir une image nette que si elle se forme sur la rétine. Un œil au repos (cristallin non contracté) voit à une distance maximale. Le point situé à cette distance porte le nom de Punctum Remoud noté PR. Pour voir des objets proches, le cristallin doit se contracter pour être plus convergent (sa vergence augmente), on dit que **l'œil accomode**. Le point le plus proche que peut voir net un œil est appelé Punctum Proximum noté PP. Il correspond à la distance minimale de mise au point. La zone située entre le PP et le PR est appelé champ en profondeur de l'œil.



# Plage d'accommodation (2)

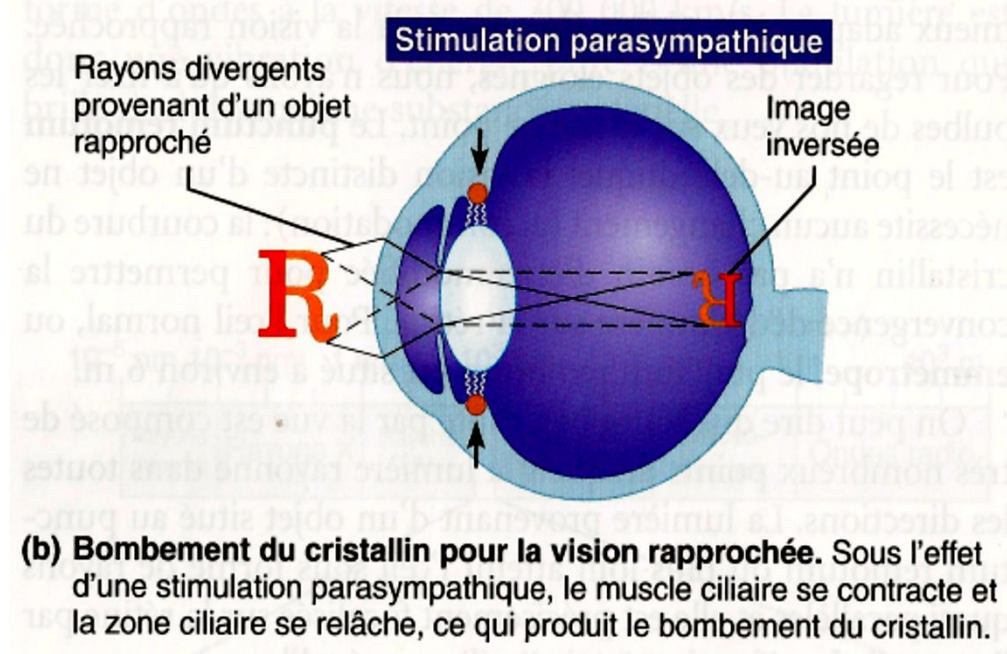
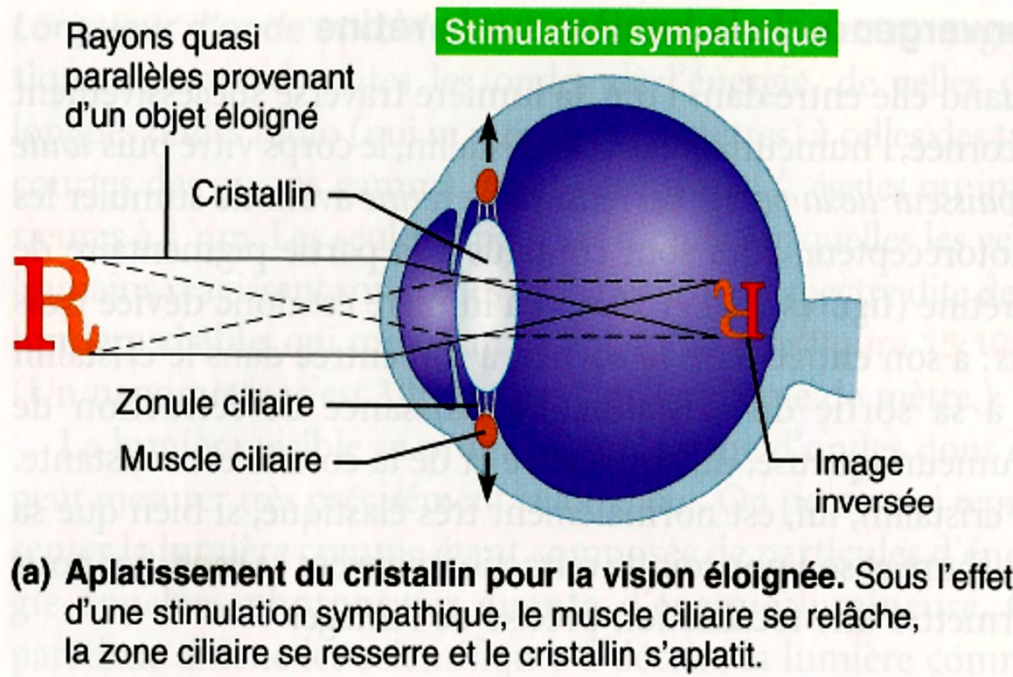
## □ Le « Punctum Remotum » noté PR.

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.**



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.

# Plage d'accommodation (3)



## □ Le « Punctum Proximum » ou PP

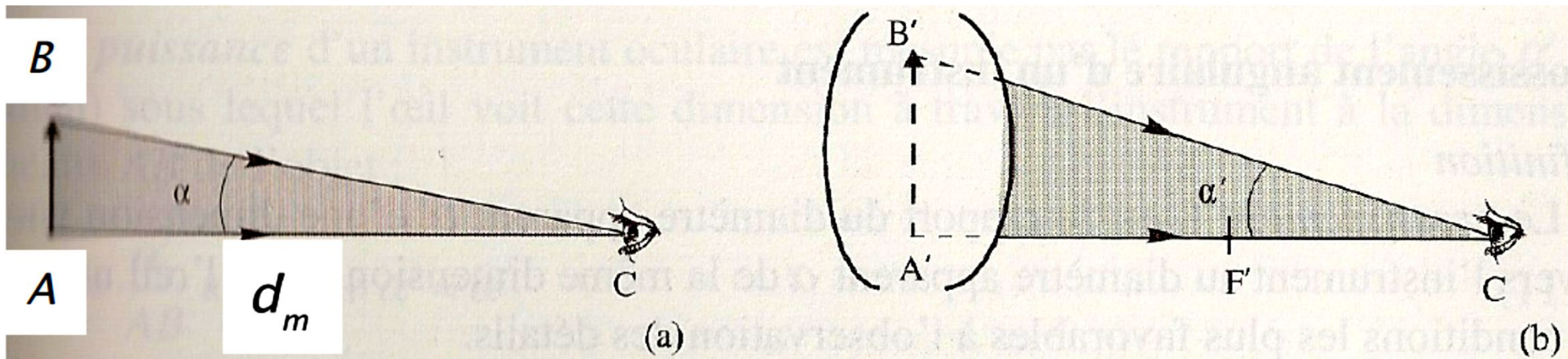
C'est le point objet vu nettement par l'œil avec une accommodation maximale. La distance minimale de vision nette pour un œil est notée  $d_m$ . Pour un œil standard  $d_m = 25 \text{ cm} = 1/4 \text{ m}$ .

# Plage d'accommodation (4)

On choisit cette valeur pour la réalisation d'instruments d'optique.  
On place l'objet AB au PP.

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

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



---

# Equation de la vision

# Expression de l'équation (1)

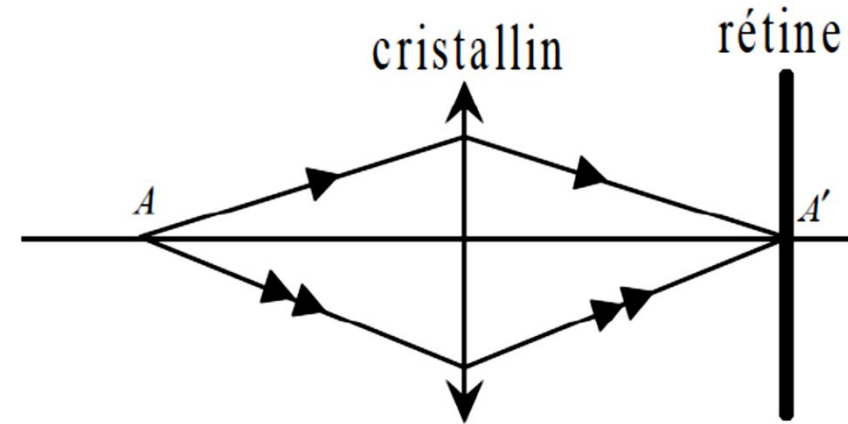
Soit un objet  $A$  situé à la distance  $D = \overline{AO}$  de l'œil, qui modifie sa distance focale  $f'$  de sorte que l'image  $A'$  soit sur la rétine.

En posant  $C = 1/f'$  et en tenant compte du fait que  $\overline{OA'} = 1/K = cte$ , la relation de conjugaison appliquée à l'œil donne :

$$K - \frac{1}{-D} = C \Rightarrow \textcolor{red}{C} - \frac{\textcolor{red}{1}}{\textcolor{red}{D}} = \textcolor{red}{K} \quad (a)$$

Ainsi, quand  $A$  se rapproche,  $D$  diminue et donc  $C$  doit augmenter (i.e.  $f'$  diminuer) pour que l'image se forme toujours au niveau de la rétine. Lorsque l'œil est au repos (pas d'accommodation), il voit nettement au PR ( $D = D_M$ ) et sa vergence vaut  $C_0$ . On a alors

$$\textcolor{red}{C}_0 - \frac{\textcolor{red}{1}}{\textcolor{red}{D}_M} = \textcolor{red}{K}$$





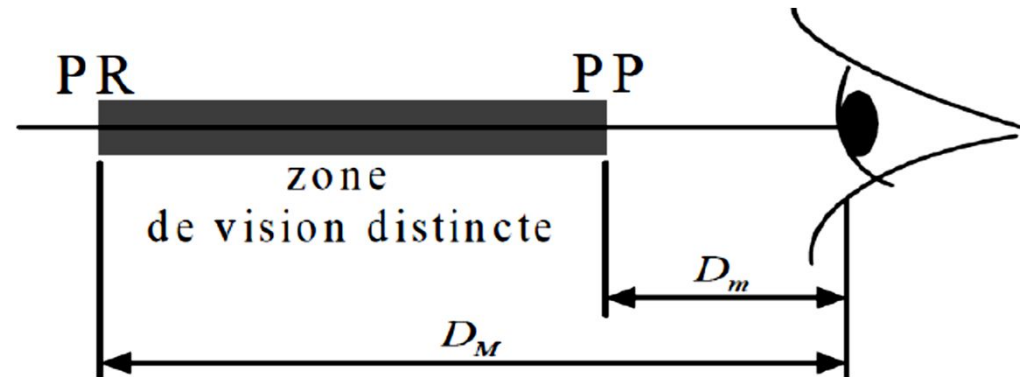
# Expression de l'équation (2)

Pour une accommodation maximale, l'œil voit nettement au  $PP$  ( $D = D_m$ ) et sa vergence varie de la quantité  $\Delta C$  appelée **amplitude dioptrique d'accommodation** (en dioptrie), soit  $C = C_0 + \Delta C$ . Dans ces conditions, l'équation (a) devient :

$$C_0 + \Delta C - \frac{1}{D_m} = K$$

En combinant les deux équations précédentes, on obtient le terme  $\Delta C$  :

$$\Delta C = \frac{1}{D_m} - \frac{1}{D_M}$$



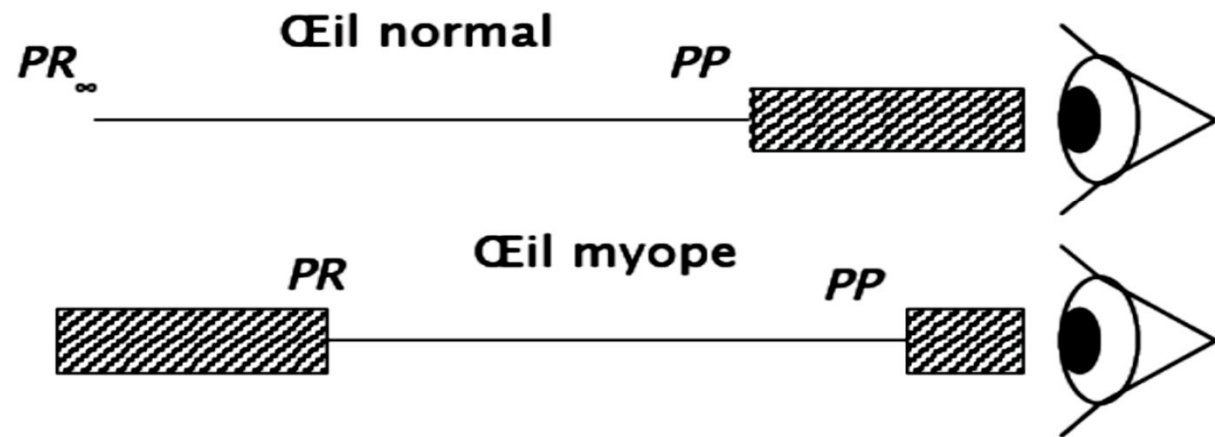
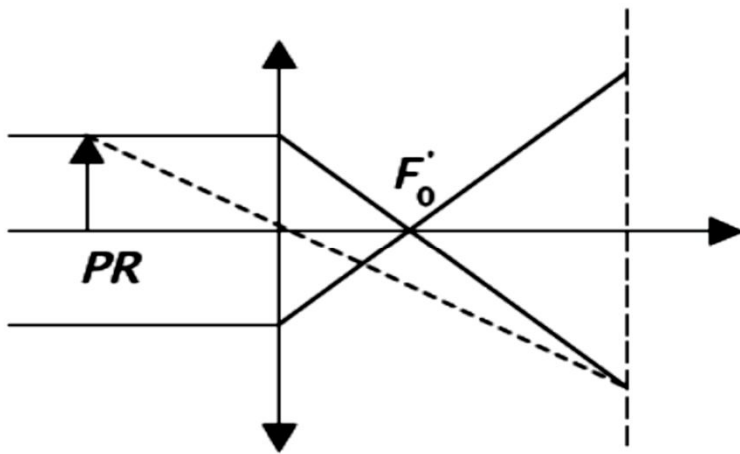
---

# Défauts de l'œil



# La myopie (1)

**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.



# La myopie (2)

On s'aperçoit sur la figure suivante que l'image d'un objet ponctuel à l'infini se forme avant la rétine et l'observateur ne voit qu'une tache floue (le myope sans lunette voit flou de loin).

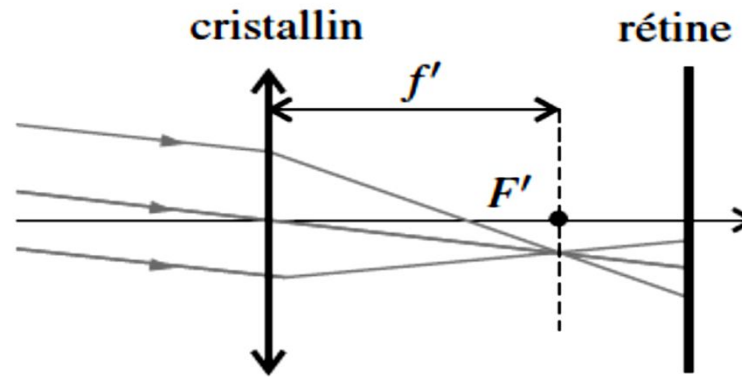


Figure 5.42 – Oeil myope sans accommodation.

**Il faut rendre l'œil moins convergent donc la correction se fait par l'utilisation d'une lentille divergente.** Cette lentille doit donner d'un objet à l'infini une image qui soit vue nettement par l'œil au repos, donc située au P.R.. Par suite, le foyer image de la lentille divergente doit coïncider avec le P.R..

# L'hypermétropie

L'hypermétropie est caractérisée pour la plupart des cas par un bulbe trop court et parfois un cristallin insuffisamment convergent. **L'œil doit donc accommoder pour voir à l'infini sinon l'image se forme derrière la rétine et l'observateur observe une tache floue.**

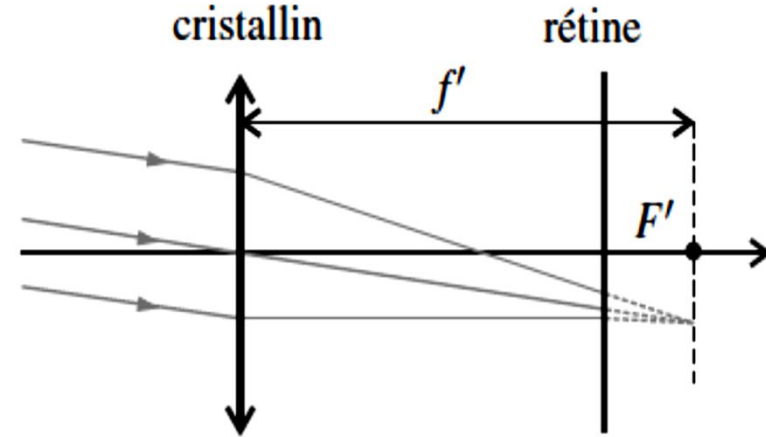
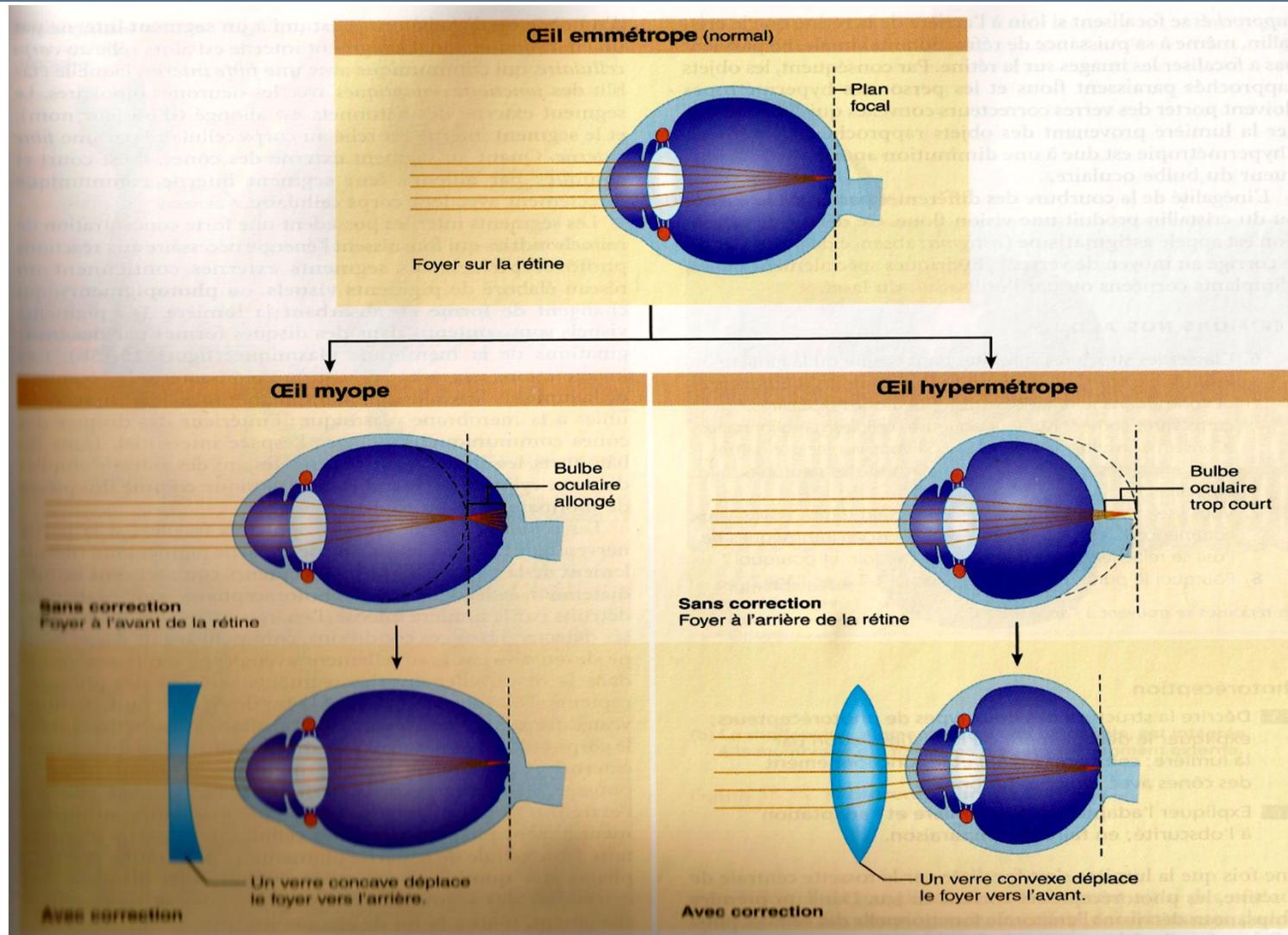


Figure 5.43 – Oeil hypermétrope sans accommodation.

Le P.P. est plus éloigné que pour l'œil normal. **Il faut rendre l'œil plus convergent donc la correction se fait par l'utilisation d'une lentille convergente.** Cette lentille doit donner d'un objet situé à l'infini qui soit vue nettement par l'œil au repos donc située au P.R.. Par suite, le foyer image de la lentille doit coïncider avec le P.R..

# Récapitulatif



# La presbytie

---

La presbytie est une diminution du pouvoir d'accommodation de l'œil. Elle survient avec l'âge et s'explique par la diminution de la plasticité du cristallin et une diminution de la vigueur des muscles ciliaires. Elle se traduit par une augmentation de la distance de vision distincte (environ 7 cm à 10 ans, 25 cm à 40 ans, 1 m à 60 ans).

L'œil presbyte ne peut accommoder suffisamment pour voir nettement les objets rapprochés : le cristallin ne peut plus prendre une courbure suffisante. **On associe donc à l'œil presbyte une lentille convergente, qui ne sera utilisée que pour la vision rapprochée (lecture...) ;** pour la vision éloignée, donc sans accommodation, l'œil presbyte possède une vision normale.

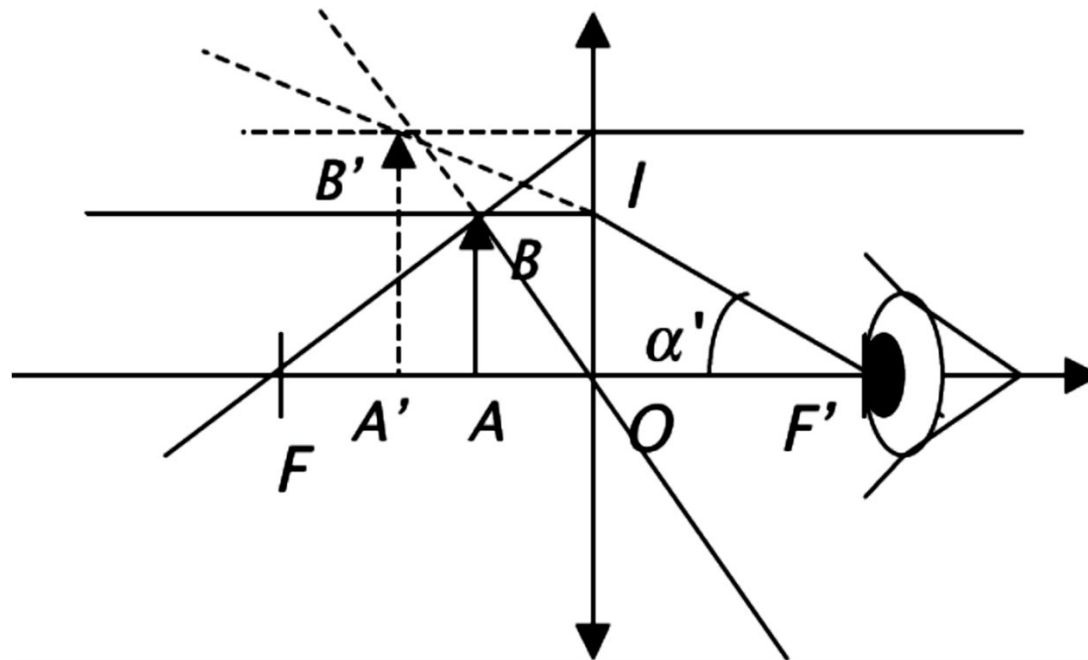
---

# La loupe



# Description

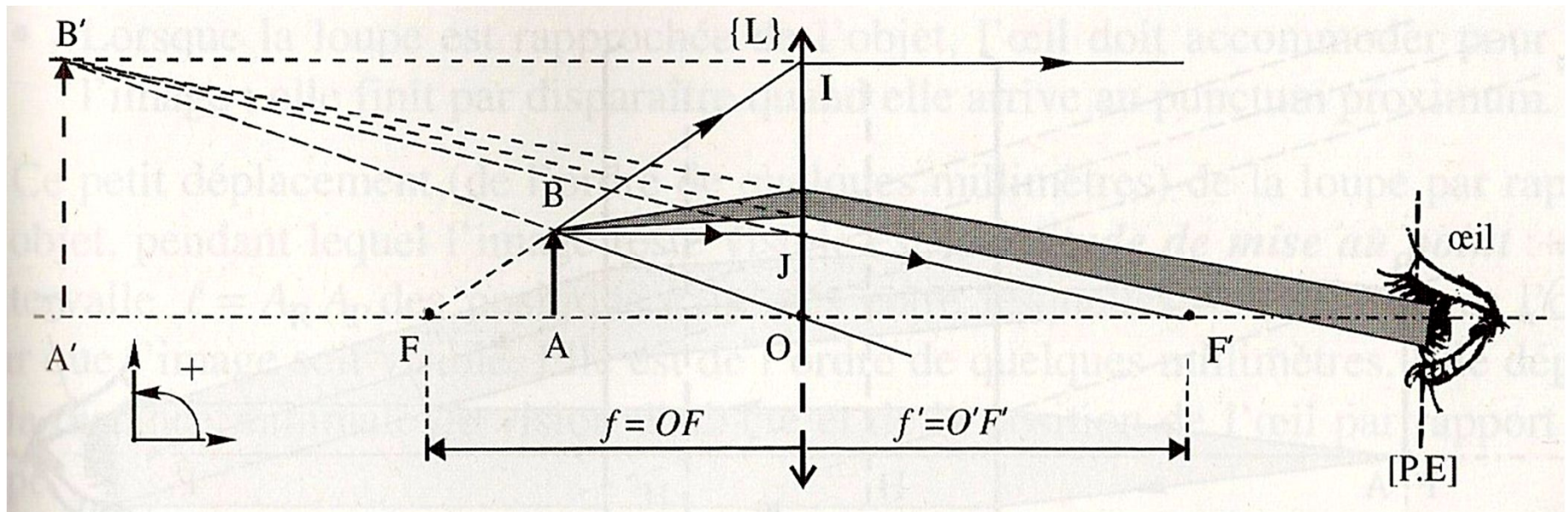
Un objet  $AB$  est placé entre  $F$  et  $O$ . On a une image virtuelle et agrandie. On place généralement l'œil en  $F'$  pour que l'image soit toujours vue sous le même diamètre angulaire  $\alpha'$  quelle que soit la position de l'objet entre  $F$  et  $O$ .





# Grandissement

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



# 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  $F'$  :

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

$V$  (vergence) . Dans ce cas,  $P = V$  et ne dépend pas de la taille de l'objet, c'est une grandeur intrinsèque à la loupe.

# 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  $\alpha_m \approx 5.10^{-4} \text{ rad}$ .

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  $\delta$ ,  $AB_m = 0,01 \text{ mm}$

# Grossissement

Avec la loupe

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

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

On a :

$$\alpha = \frac{AB}{d_m} \Rightarrow \mathbf{G = P d_m}$$

On définit le **grossissement commercial** par

$$\mathbf{G_c = P \left( \frac{1}{4} \right) = \frac{1}{4f'(m)}}$$

ce qui correspond à l'objet placé à la distance  $d_m$  sans loupe.

A.N :  $f' = 2,5 \text{ cm}$ ,  $G_c = 10$ .

---

# Lunettes de visées à l'infini

# Constitution

---

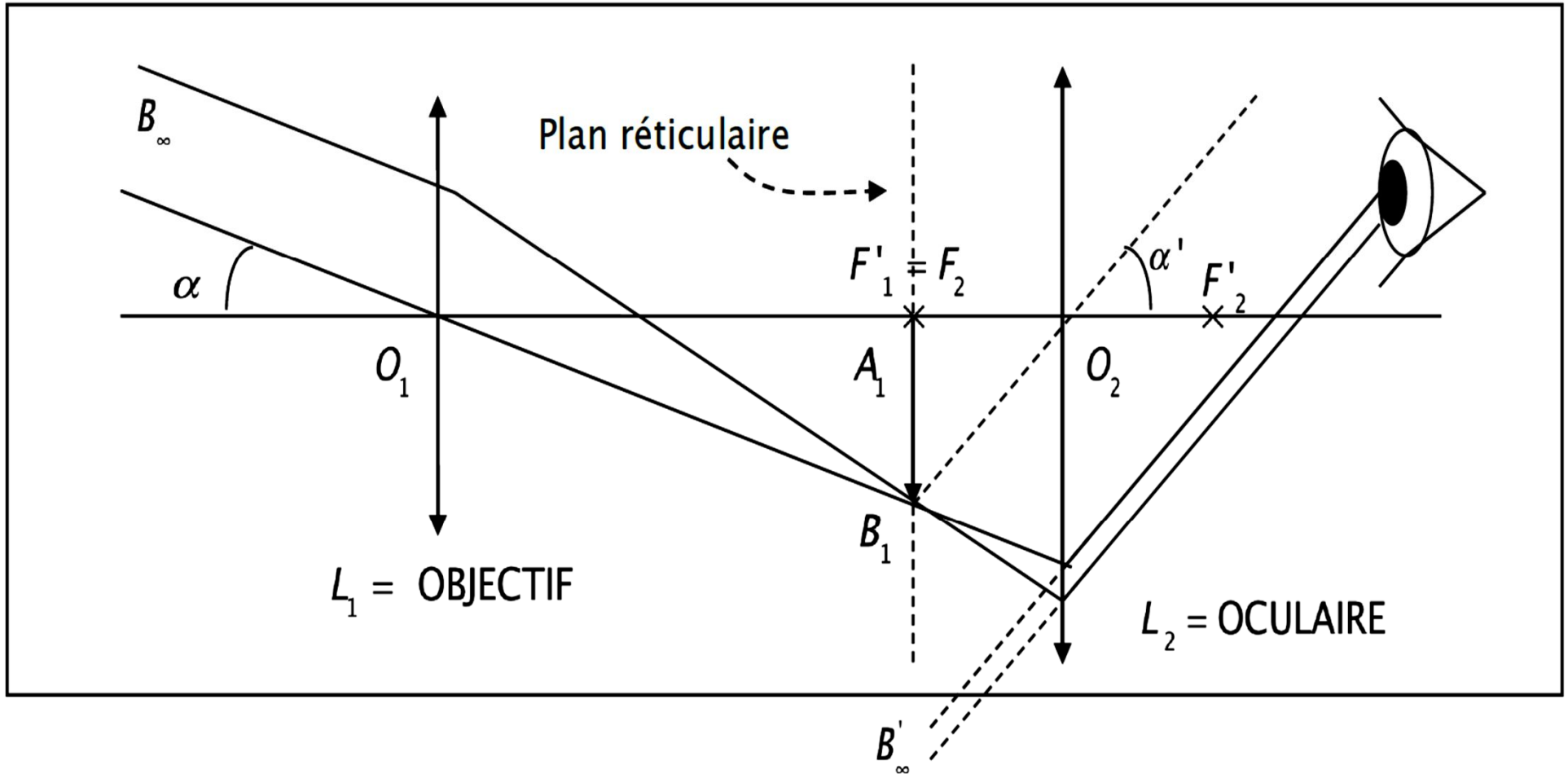
⇒ **L'objectif assimilé à une lentille convergente** (côté objet): il est constitué de plusieurs lentilles pour corriger au maximum les problèmes d'aberrations géométriques et chromatiques.

⇒ **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 .

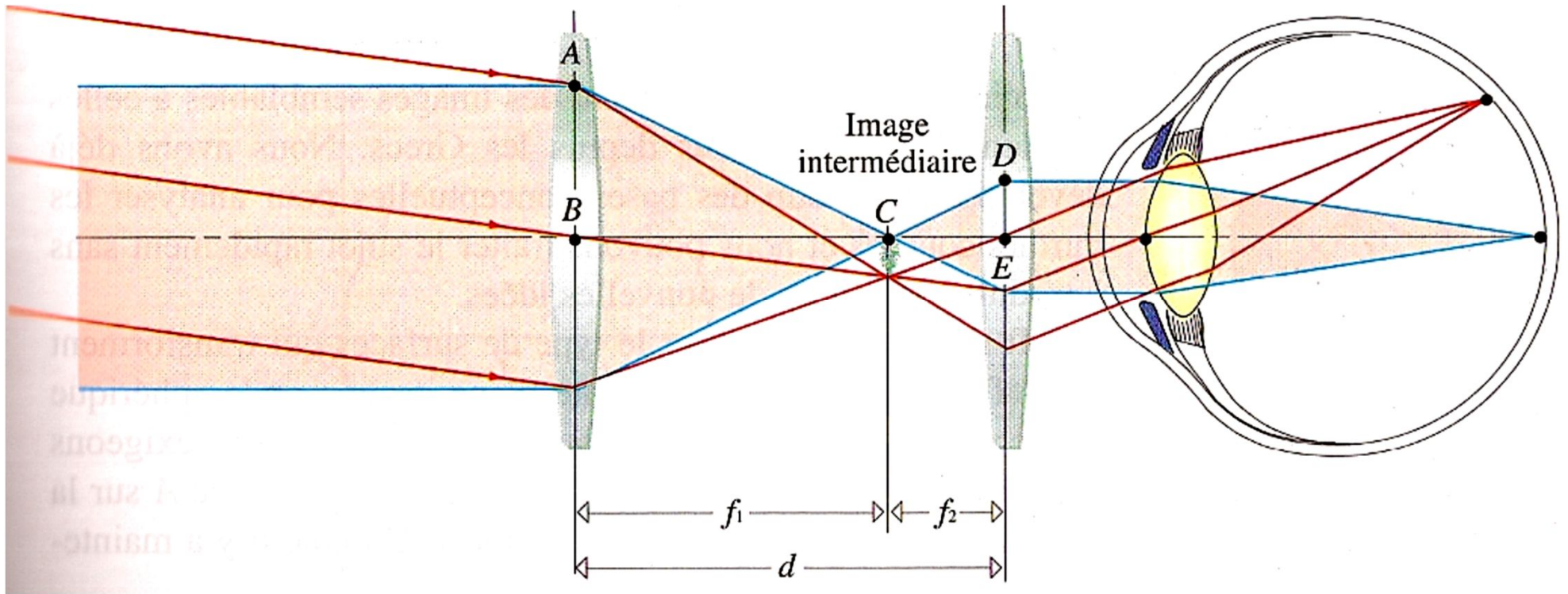
---

# Schématisation (1)





# Schématisation (2)



Une lunette astronomique mise au point pour que la lumière émise par chaque point de l'objet entre dans l'objectif sous la forme d'un faisceau parallèle. On a représenté ici la lumière émise par un point de l'objet sur l'axe (rayons bleus) et par l'extrémité de l'objet située au-dessus de l'axe (rayons bleus).

# Schématisation (3)

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  $F_2'$ .**

# Schématisation (4)

Par définition le grossissement  $G$  de la lunette correspond à

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

$$\tan \alpha \approx \alpha = \frac{\overline{A_1 B_1}}{f_1'} \quad \text{et} \quad \tan \alpha \approx \alpha = -\frac{\overline{A_1 B_1}}{f_2'} \quad \text{donc}$$

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**.

---

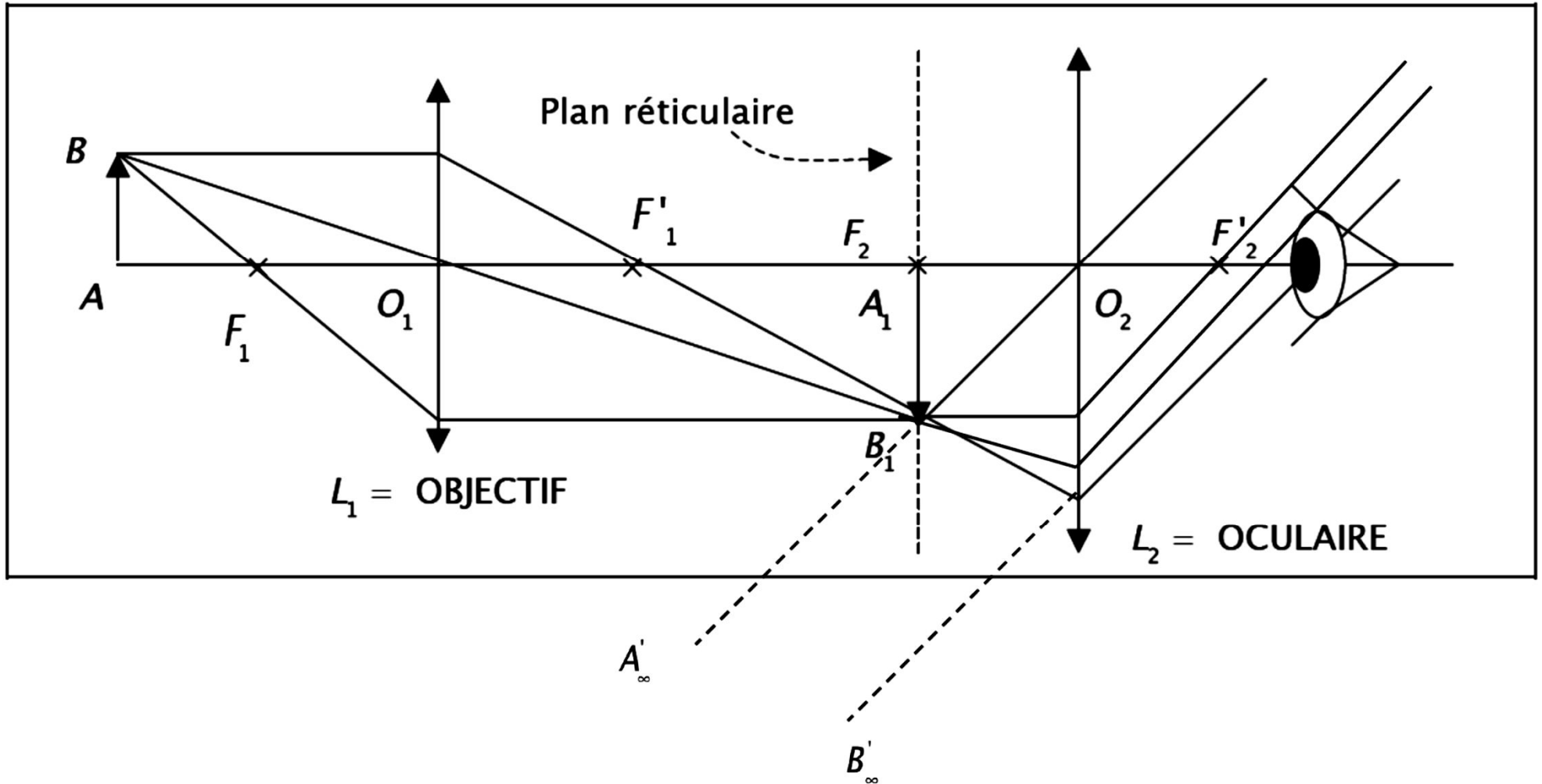
# Visueur ou lunette à frontale fixe

---

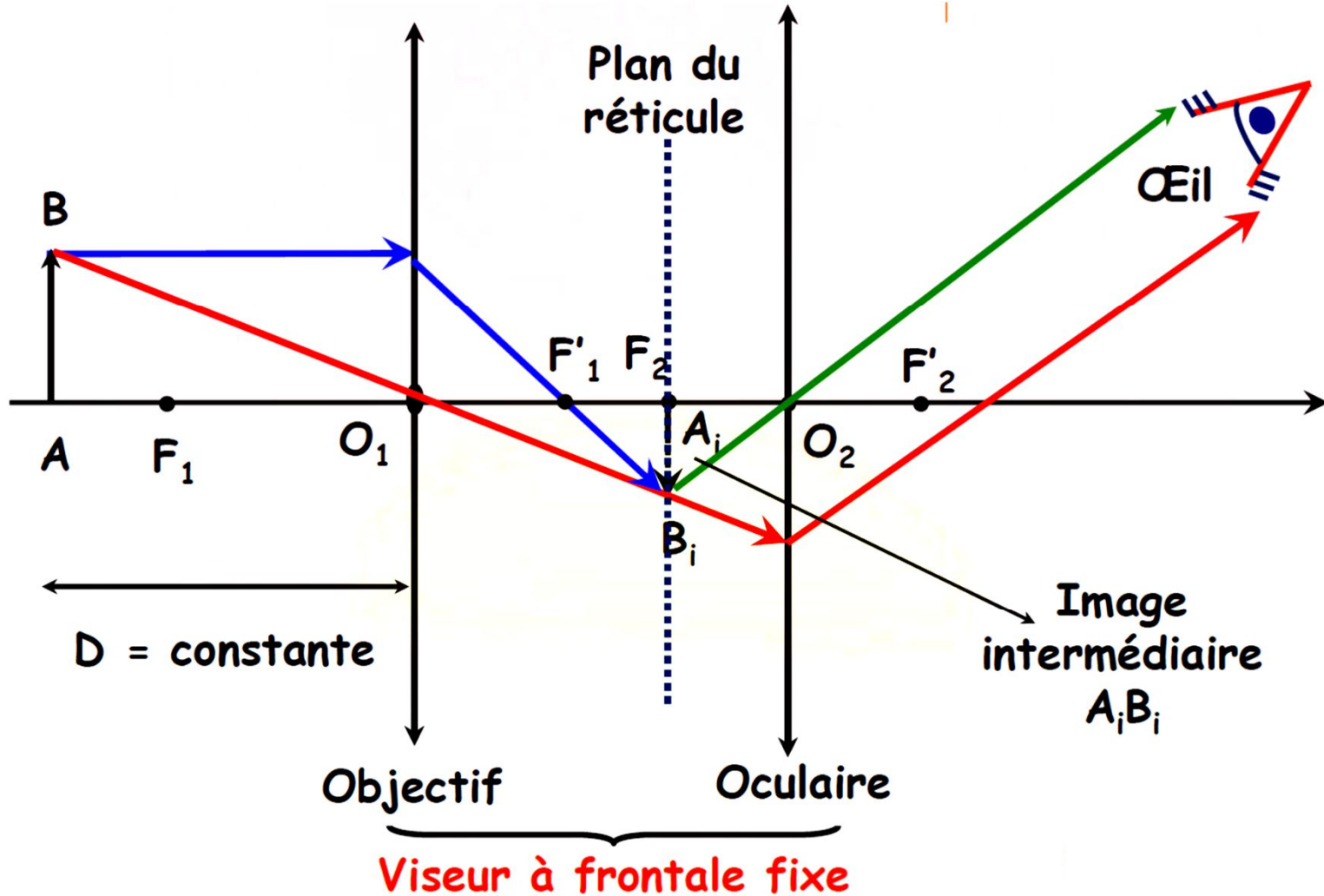
# Définition

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 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.

# Schématisation (1)

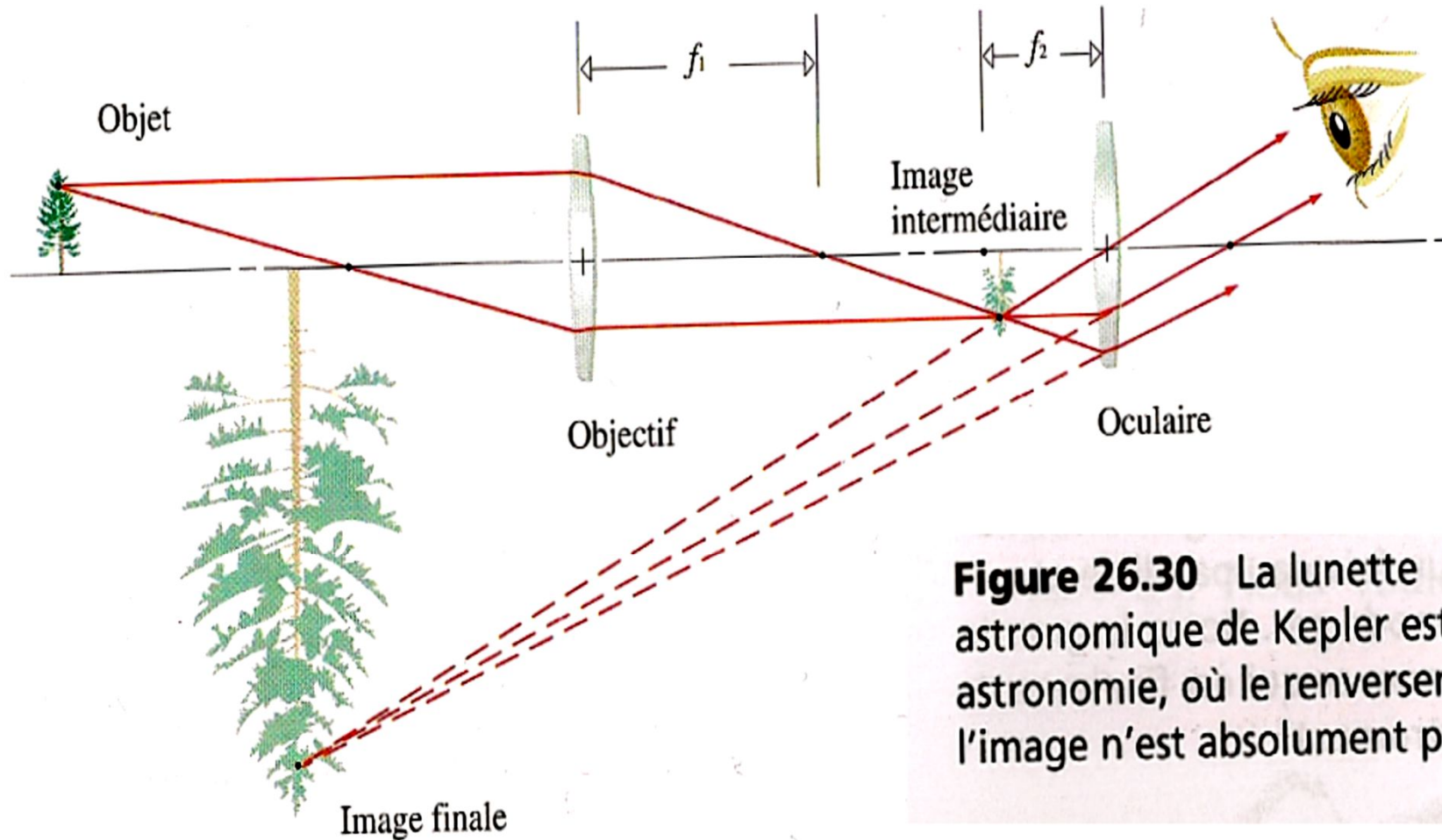


# Schématisation (2)





# Schématisation (3)



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