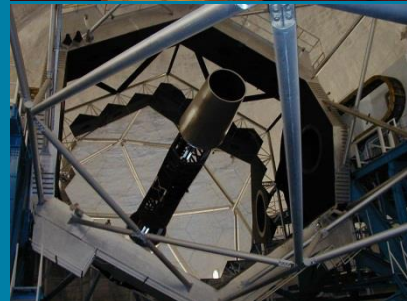


# Département de Physique

## Filière SMPC : Semestre 2



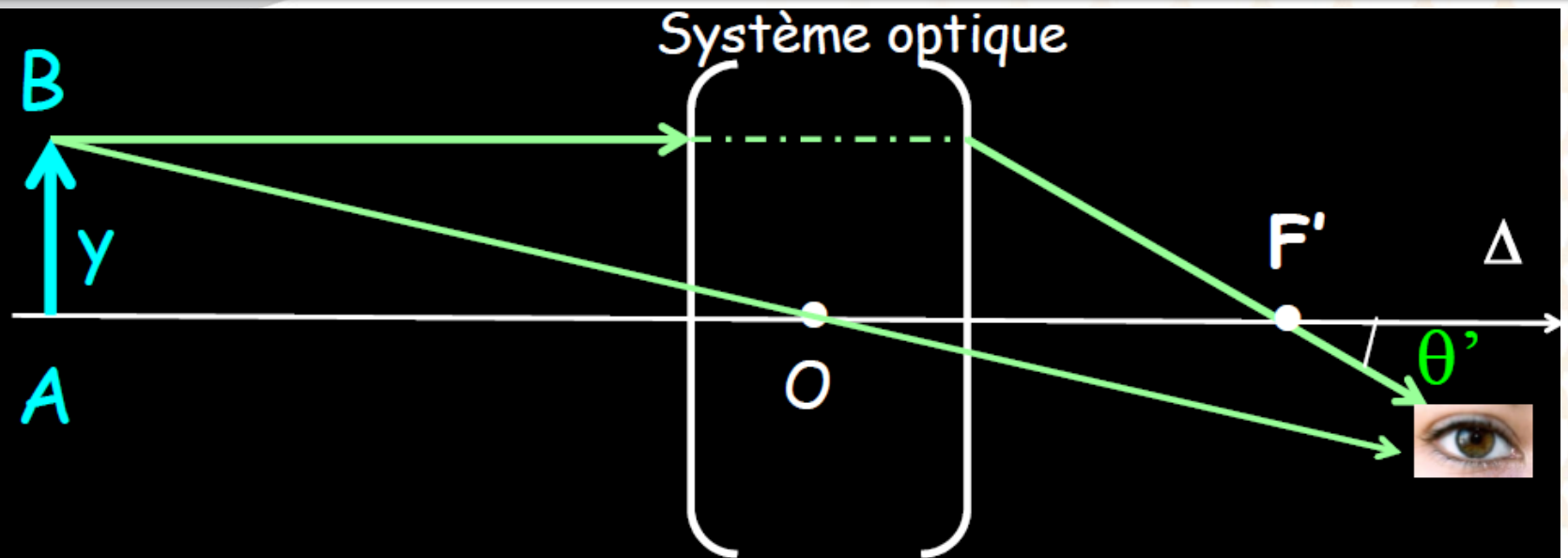
# Les instruments d'optique

## Abdelhai Rahmani

Année universitaire 2019-2020

- Caractéristiques
- La loupe
- Le microscope
- Le télescope

# DIAMÈTRE APPARENT



Soit  $\theta'$  le diamètre apparent de l'image.  $\theta'$  est l'angle sous lequel l'observateur voit à travers l'instrument une dimension  $y$  déterminée de l'objet. Ce diamètre est proportionnel à la grandeur  $y$  de la dimension correspondante de l'objet.

Image 'taille angulaire' ←

$$\theta' = \frac{y}{f'}$$

Objet 'taille linéaire' →

Instrument 'distance focale' →

Vergence

$$V(\delta) = \frac{1}{f'(m)}$$

**Puissance P** : Facteur qui caractérise uniquement les instruments destinés à la vision d'objets rapprochés comme la **loupe** et le **microscope**.

$$P(\text{Dioptries}) = \frac{\theta'(\text{rd})}{y(\text{m})}$$

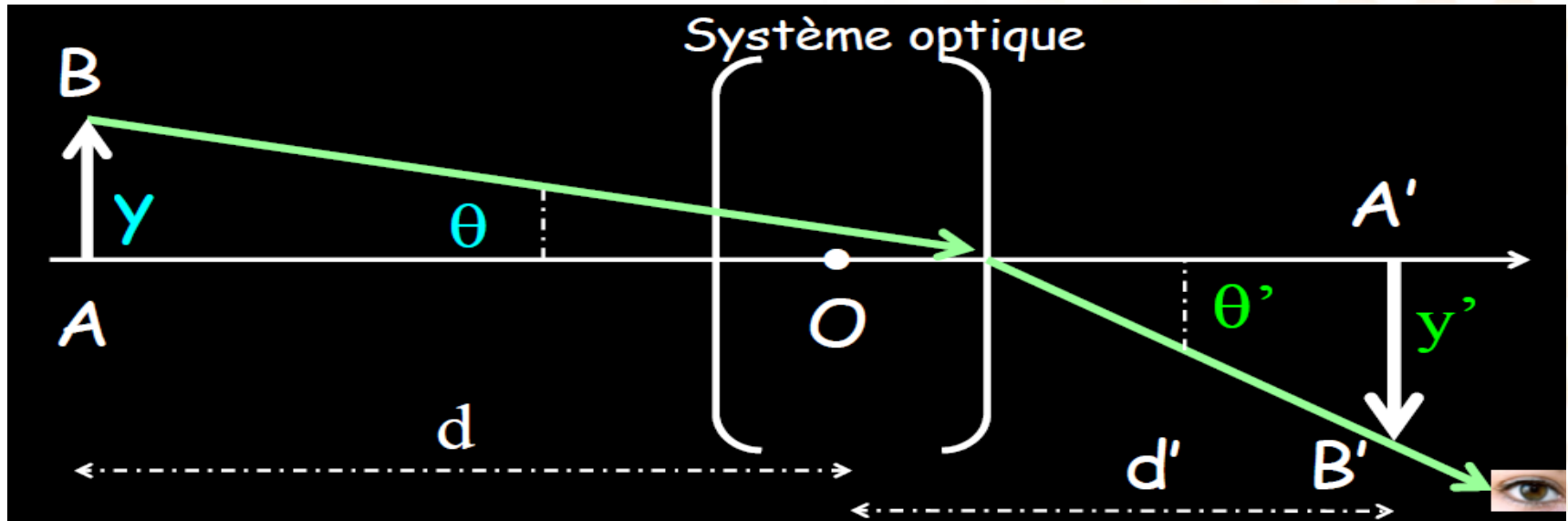
Il est à remarquer que  $\theta'$  peut être exprimer en fonction de la **vergence V** du système optique :

$$\theta' = y \cdot V \quad P = V$$

La puissance est égale à la vergence de l'instrument d'optique.

# LE GROSSISSEMENT

Si on veut comparer les tailles apparentes de l'objet et de l'image, on doit définir le **grossissement angulaire  $G$**  comme le rapport des *angles* sous-tendus par l'objet et l'image d'après un observateur.



**Grossissement  $G$**  : Pour les objets rapprochés, on utilise les instruments d'optiques comme la loupe et le microscope. Le grossissement est défini par l'expression suivante :

$$\begin{cases} \theta = \frac{y}{d} \\ \theta' = \frac{y'}{d'} \end{cases}$$

$$G = \frac{\theta'}{\theta} \geq 1$$

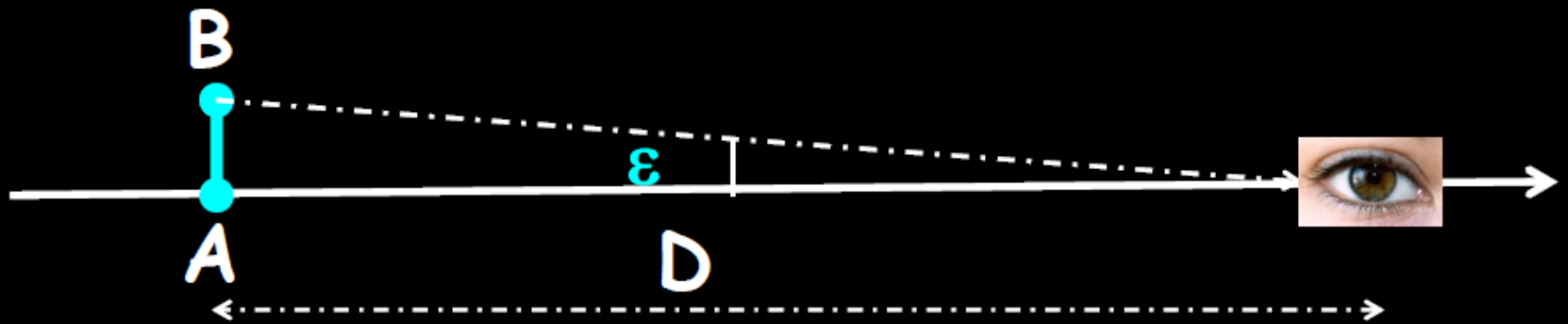
$$\theta \approx \frac{y}{d} \quad \text{et} \quad \theta' \approx \frac{y'}{d'}$$

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\theta'}{y} \cdot d = P \cdot d = V \cdot d$$

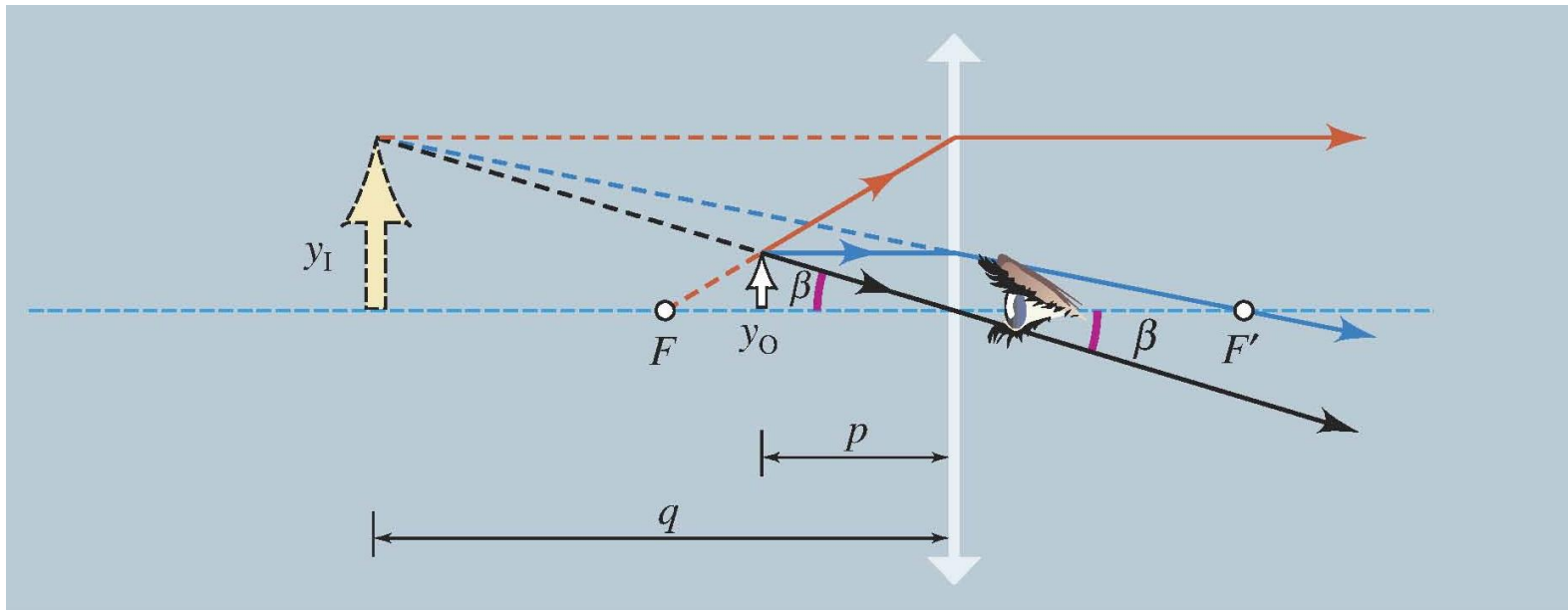
**Pouvoir séparateur** : est un paramètre qui se rapporte à la limite de perception des détails :

$$\text{tg}(\varepsilon) = AB/D = \varepsilon_{rd}$$

C'est souvent la qualité la plus importante pour un instrument d'optique.

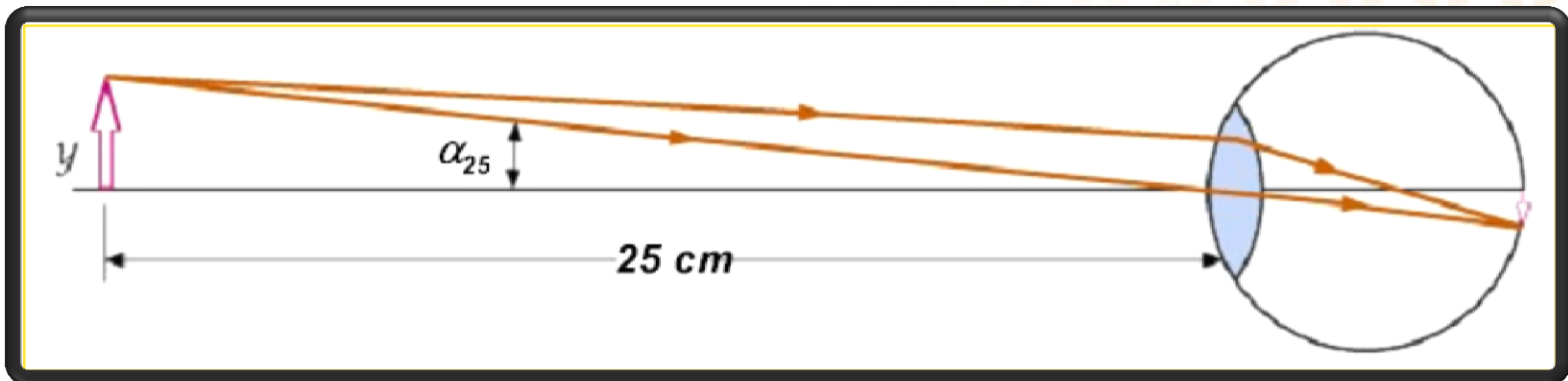


- Pour une lentille convergente, lorsque l'objet est plus rapproché que la distance focale, l'image est virtuelle et agrandie, et il faut regarder à travers la lentille pour la voir: la lentille convergente agit comme une **loupe**.



## LE GROSSISSEMENT D'UNE LOUPE

- Pour un objet rapproché, l'angle  $\alpha$  dépend de la distance entre l'objet et l'observateur. Nous définissons l'angle  $\alpha$  dans cette situation comme *l'angle sous-tendu par l'objet à la distance minimale de vision distincte*. Cette distance est voisine de 25 cm pour un œil normal.





- D'après les figures précédentes on trouve:

$$\alpha_{25} = \frac{y_0}{0,25} \text{ et } \beta = \frac{y_I}{q} = \frac{y_0}{p}$$

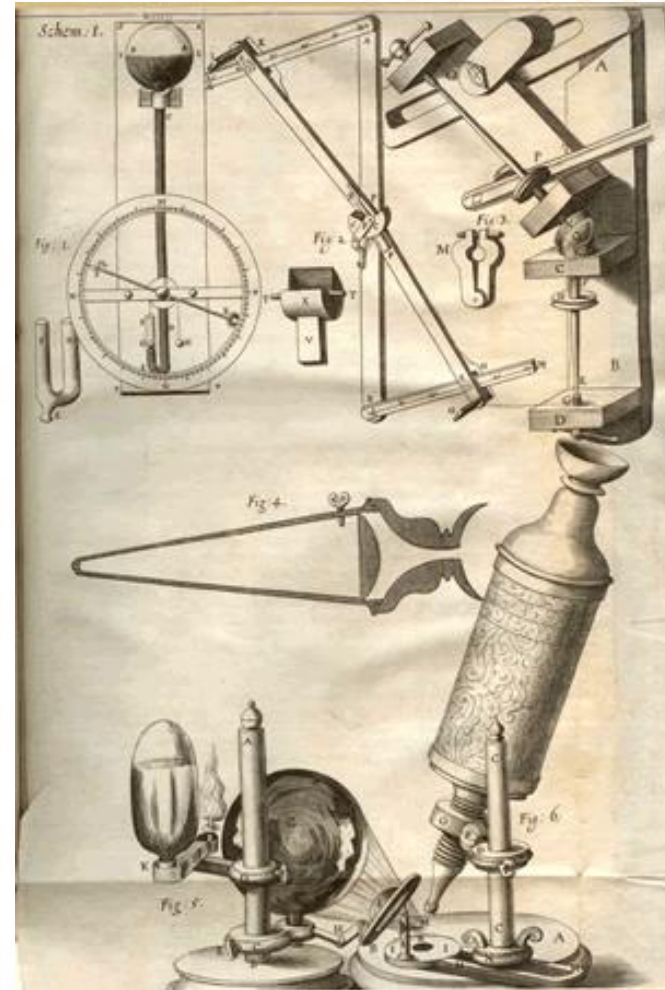
$$\text{Soit : } G = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{0,25}{p}$$

Dans le cas particulier où  $p = f$ , l'image est à l'infini et l'équation précédente devient:

$$G_{\infty} = \frac{0,25}{f}$$

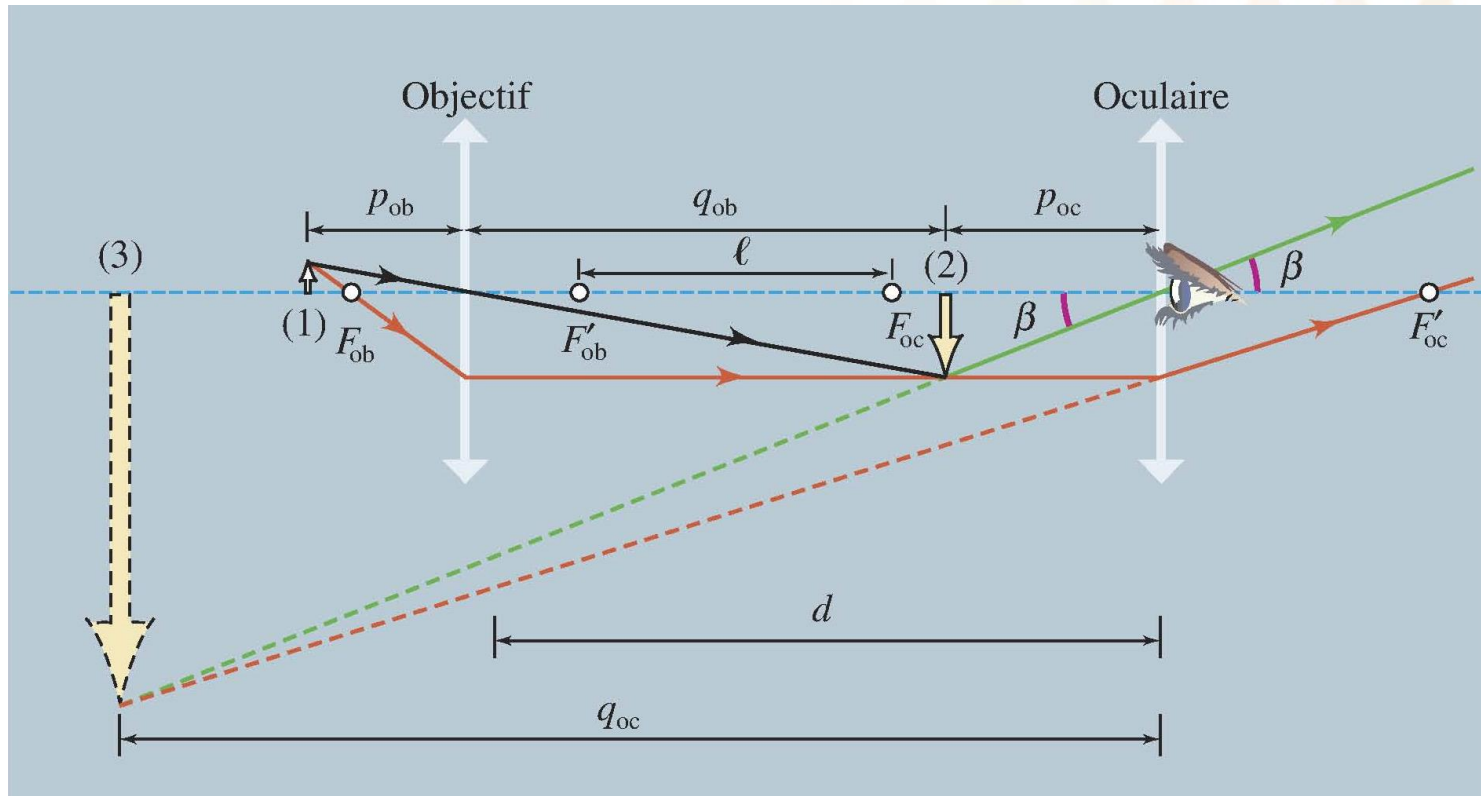
## Microscope composé utilisé par Robert Hooke

Dans son ouvrage *Micrographia*, Robert Hooke (1665) donnait des illustrations détaillées des informations qu'il avait faites à l'aide du microscope composé représenté à la figure ci-contre.



# MICROSCOPE COMPOSÉ

- Dans un microscope composé, la première lentille est l'**objectif** (ob) et la deuxième est l'**oculaire** (oc). L'objectif forme une image agrandie de l'objet en un point situé à une distance de l'oculaire qui est inférieure (ou égale) à sa distance focale  $f_{oc}$ . L'oculaire joue alors le rôle d'une loupe simple.



- Le microscope composé grossit l'image en deux étapes: d'abord, l'objectif produit un grossissement transversal (linéaire)  $m = -q_{ob}/p_{ob}$ . L'image ainsi agrandie est alors observée à la loupe (oculaire), ce qui produit un grossissement (angulaire)  $G = 0,25/p_{oc}$ . Le grossissement global du microscope devient:

$$G = -\frac{q_{ob}}{p_{ob}} \times \frac{0,25}{p_{oc}}$$

## Exercice

- Dans un microscope, les distances focales de l'objectif et de l'oculaire sont respectivement de 6 mm et de 2,4 cm. L'objet est situé à 6,25 mm de l'objectif. Trouvez le grossissement angulaire si l'image finale est à l'infini.

## Solution

- Commençons par trouver la position de l'image formée par l'objectif ( $q_{ob}$ ).

$$\frac{1}{q_{ob}} = \frac{1}{6 \text{ mm}} - \frac{1}{6,25 \text{ mm}}$$

On trouve  $q_{ob} = 150 \text{ mm}$ . On peut alors calculer le grandissement transversal produit par l'objectif:

$$m_{ob} = -\frac{q_{ob}}{p_{ob}} = -\frac{150}{6,25} = -24x$$

- Puisque l'image finale se forme à l'infini, ça implique que  $p_{oc} = f_{oc} = 2,4$  cm. Calculons le grossissement (angulaire) de l'oculaire.

$$G_{\infty} = \frac{0,25}{f_{oc}} = \frac{0,25}{0,024} = 10,4x$$

On trouve comme grossissement total:

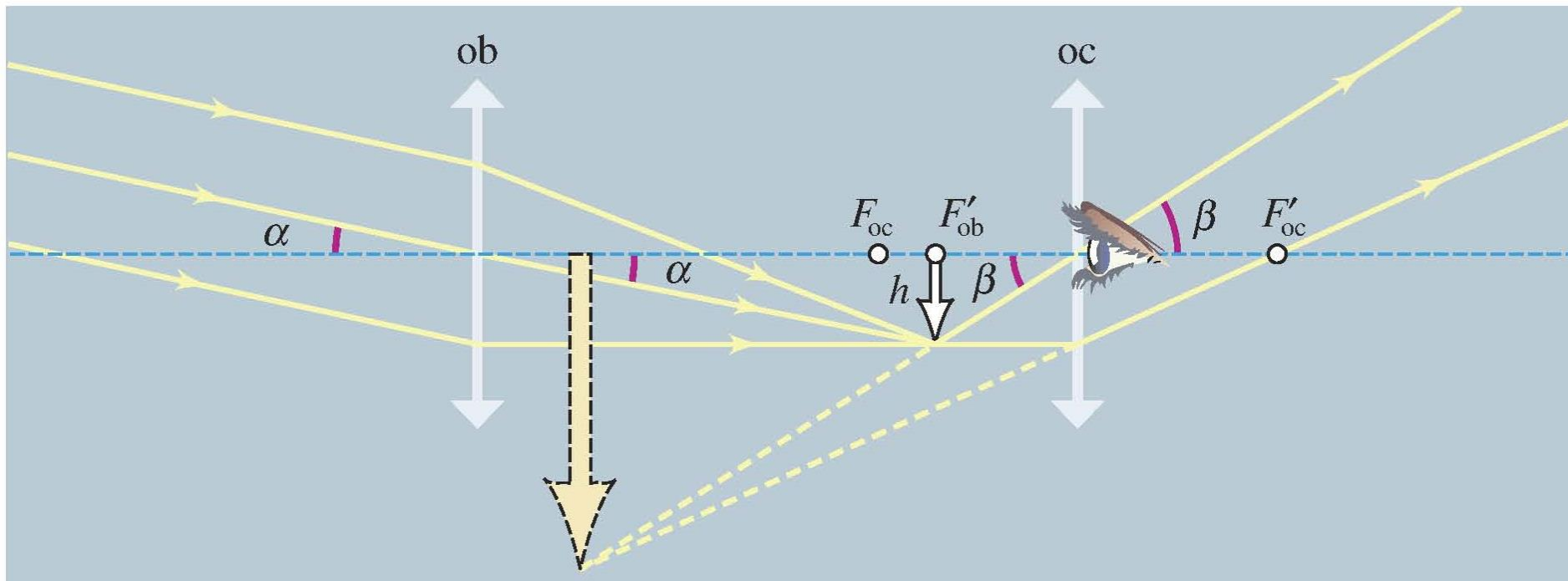
$$G = m_{ob} \times G_{oc} = -\frac{q_{ob}}{p_{ob}} \times \frac{0,25}{p_{oc}} = -\frac{150}{6,25} \times \frac{0,25}{0,024} = -24 \times 10,4 = -250x$$

## Lunette astronomique utilisée par Galilée

Après avoir entendu parler de l'invention de la première lunette astronomique par le hollandais Hans Lippershey, Galilée fabriqua un modèle perfectionné qu'il orienta vers le ciel. Kepler suggéra que deux lentilles convergentes pouvaient constituer une lunette astronomique. C'est ce type de télescope que nous allons examiner en premier lieu.



- L'objectif d'une lunette astronomique produit une image réelle à une distance de l'oculaire inférieure (ou égale) à sa distance focale  $f_{oc}$ . L'oculaire joue le rôle d'une simple loupe.





- Pour des petits angles  $\beta = h/p_{oc}$  et  $\alpha = h/f_{ob}$ .  
Le grossissement devient:

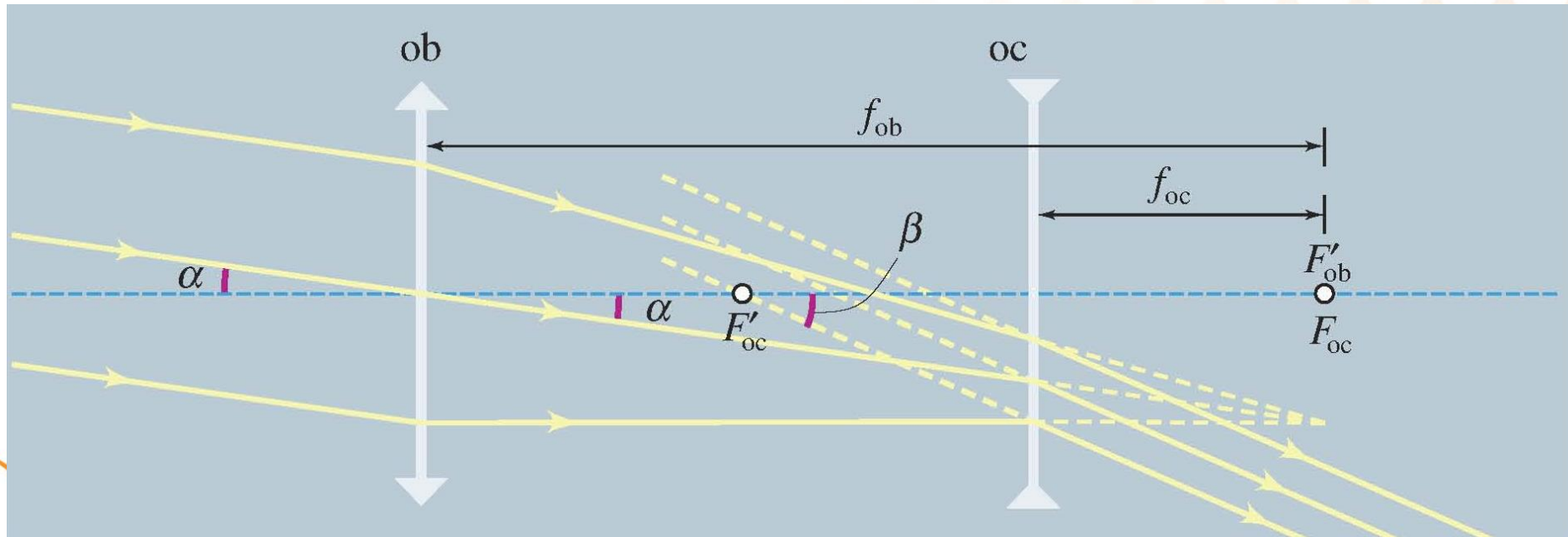
$$G = \frac{\beta}{\alpha} = -\frac{f_{ob}}{p_{oc}}$$

Si l'image finale est formée à l'infini, on a alors  $p_{oc} = f_{oc}$ .  
Soit:

$$G_{\infty} = -\frac{f_{ob}}{f_{oc}}$$

# LUNETTE DE GALILÉE

- Dans la **lunette de Galilée** (figure ci-dessous), l'oculaire est une lentille divergente. Les expressions donnant le grossissement total sont les mêmes que pour la lunette astronomique.



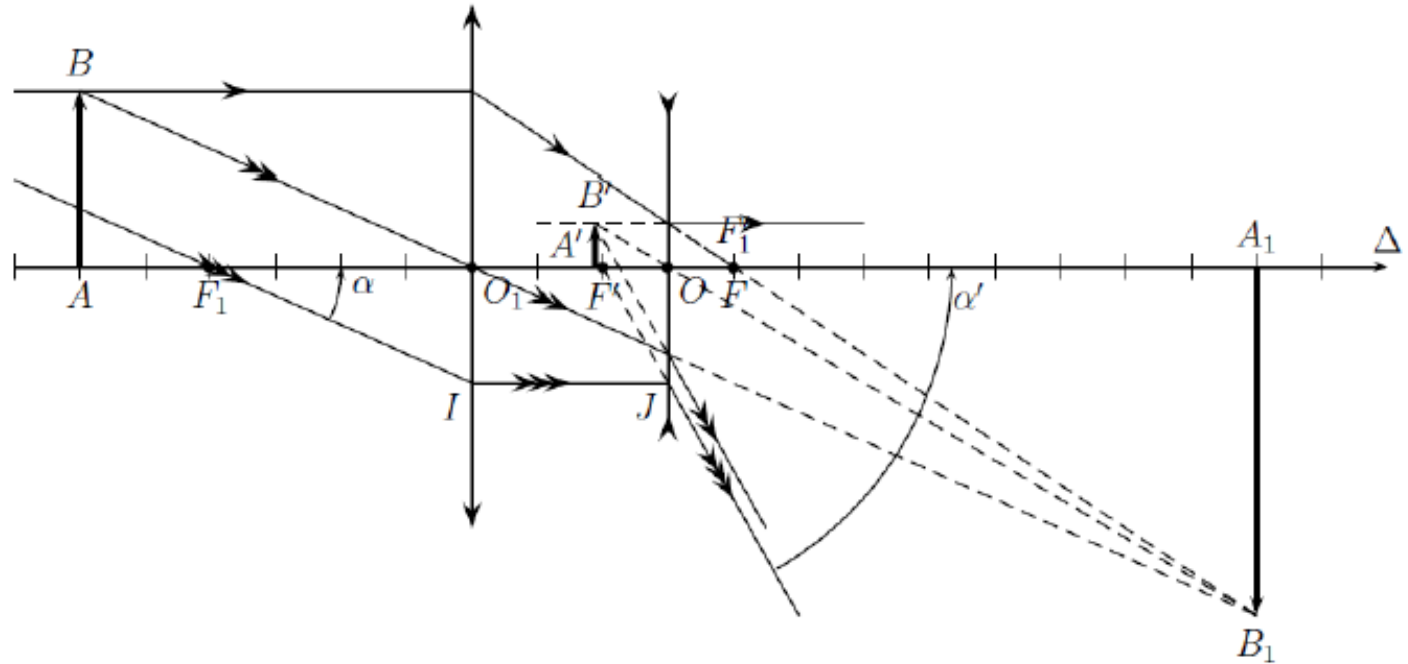
## EXERCICE D'APPLICATION : LUNETTE DE GALILÉE

La lunette de Galilée est formée d'une lentille objectif ((L<sub>1</sub>) : O<sub>1</sub>, f<sub>1</sub> = 20 cm) et d'une lentille oculaire divergente ((L) : O, f' < 0). Le foyer objet F de (L) coïncide avec le foyer image F<sub>1</sub> de (L<sub>1</sub>). La longueur l = O<sub>1</sub>O vaut 15 cm.

- 1) On pointe un objet AB de 2 cm à 30 cm devant l'objectif (utilisation en viseur).
  - a. Construite l'image A'B' de AB. Est-elle réelle ou virtuelle ?
  - b. Calculer la position OA' et la taille A'B' de l'image
  - c. Le grandissement de l'ensemble dépend-il de la position de AB ? On tracera un rayon issu de B et arrivant sur le système parallèlement à l'axe optique.
- 2) Cet appareil est destiné à voir des objets éloignés. Soit  $\alpha$  le diamètre angulaire apparent d'un objet à l'infini et  $\alpha'$  celui de son image, calculer le grossissement G de cette lunette.

# CORRECTION : LUNETTE DE GALILÉE

- 1) a. En utilisant la notion d'image intermédiaire, on trace  $A_1B_1$  telle que :  
 $AB-(L_1) \rightarrow A_1B_1-(L_2) \rightarrow A'B'$  l'image finale  $A'B'$ .



Pour que  $F$  soit confondu avec  $F'_1$ , il faut que

$$\overline{OF'} = -\overline{OF} = -\overline{OO_1} - \overline{O_1F} = 15 - 20 = -5\text{cm}$$

On remarque que l'image est virtuelle.

b. Position de l'image  $A'B'$

$AB-(L_1) \rightarrow A_1B_1-(L_2) \rightarrow A'B'$ .

Relation de conjugaison pour  $L_1$  :

## CORRECTION : LUNETTE DE GALILÉE

$$\frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{f'_1} \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{-30} = \frac{1}{20} \Rightarrow \overline{O_1A_1} = 60 \text{ cm}$$

Relation de conjugaison pour  $L_2$  :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA_1}} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \overline{OA'} = \frac{f' \cdot \overline{OA_1}}{f' + \overline{OA_1}}$$

On a  $\overline{OA_1} = \overline{OO_1} + \overline{O_1A_1} = -15 + 60 = 45 \text{ cm}$

$$\text{Donc } \overline{OA'} = \frac{-5 \times 45}{-5 + 45} = -5.6 \text{ cm}$$

c. Taille de l'image A'B'

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} \times \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA_1}} \times \frac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}} = \frac{-5.6}{45} \times \frac{60}{30} = 0.25 \Rightarrow \overline{A'B'} = 0,5 \text{ cm}$$

Image est donc droite et quatre fois plus petite que l'objet.

Comme le système est afocal, le grandissement de l'ensemble ne dépend pas de la position de l'objet AB (voir rayon partant de B et parallèle à l'axe optique).

2) On peut travailler sur le rayon passant par  $F_1$ , I puis J pour définir  $\alpha$  et  $\alpha'$ .

Dans l'approximation de Gauss,  $\tan \alpha = \frac{\overline{IO_1}}{\overline{F_1I}} \approx \alpha$  et  $\tan \alpha' = \frac{\overline{JO}}{\overline{F'O}} \approx \alpha'$

D'où le grossissement  $G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\overline{JO}}{\overline{F'O}} \times \frac{\overline{F_1I}}{\overline{IO_1}} = \frac{f'_1}{f'} = 4$

- On utilise une lunette astronomique pour observer un objet de taille de 4 cm à une distance de 20 m. Les distances focales de l'objectif et de l'oculaire sont de 80 cm et de 5 cm, respectivement. L'image finale est à 25 cm de l'oculaire.
- a) Quelle est la dimension de l'image finale ?
- b) Quel est le grossissement ?

a) Quelle est la dimension de l'image finale ?

Puisqu'il s'agit d'une combinaison de deux lentilles,  $m_{tot} = m_{ob} \times m_{oc}$

Calculons le grandissement de l'objectif:

- Tout d'abord on détermine  $q_{ob}$

$$\frac{1}{q_{ob}} = \frac{1}{f_{ob}} - \frac{1}{p_{ob}} = \frac{1}{80 \text{ cm}} - \frac{1}{2000 \text{ cm}}$$

On trouve  $q_{ob} = 83,3 \text{ cm}$  et  $m_{ob} = -q_{ob}/p_{ob} = -0,041 \times$

a) Quelle est la dimension de l'image finale ?

Calculons le grandissement de l'oculaire:

- Tout d'abord on détermine  $p_{oc}$

$$\frac{1}{p_{oc}} = \frac{1}{f_{oc}} - \frac{1}{q_{oc}} = \frac{1}{5 \text{ cm}} - \frac{1}{-25 \text{ cm}}$$

On trouve  $p_{oc} = 4,16 \text{ cm}$  et  $m_{oc} = -q_{oc}/p_{oc} = 6 \times$

Calculons le grandissement total:

$$m_{tot} = m_{ob} \times m_{oc} = -0,041 \times 6 = -0,25 \times$$

Et pour la dimension de l'image finale, on obtient:

4 cm  $\times -0,25 = -1 \text{ cm}$ . (1cm et inversée par rapport à l'objet!)



**b) Quel est le grossissement?**

Calculons l'angle  $\alpha$

$$\tan \alpha = 0,04 \text{ m} / 20 \text{ m}; \alpha = 0,115^\circ$$

Calculons l'angle  $\beta$

$$\tan \beta = -0,01 \text{ m} / 0,25 \text{ m}; \beta = - 2,29^\circ$$

$$G = \beta / \alpha = - 20 \times$$