

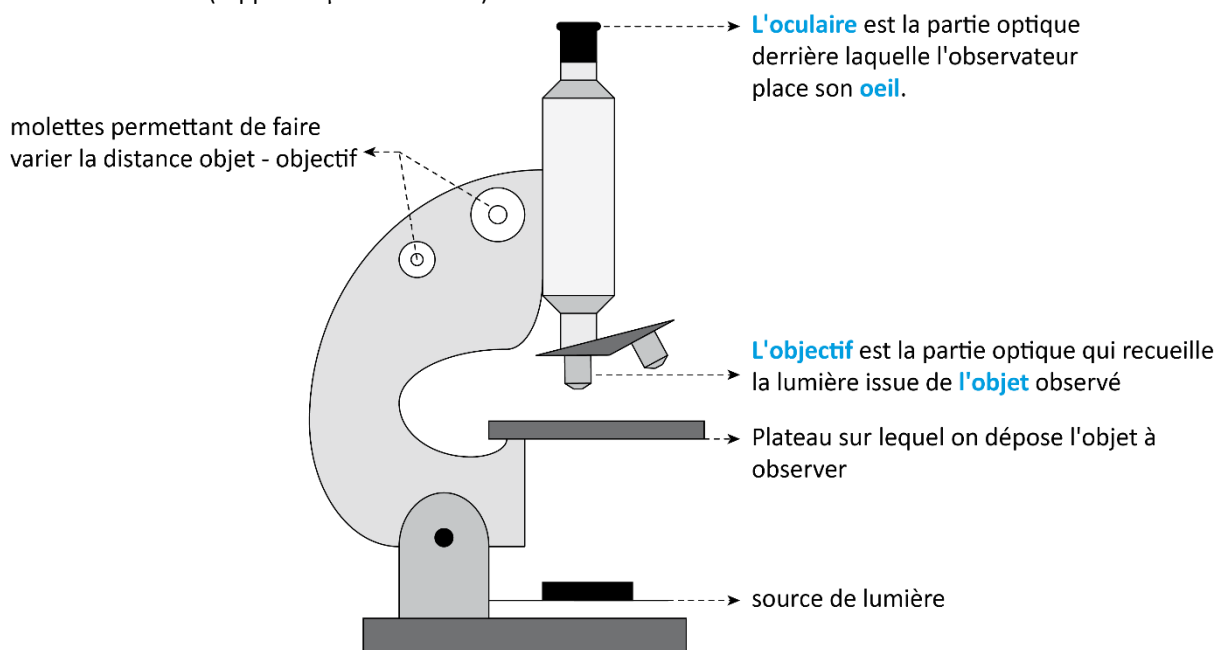
PARTIE J

Instruments d'optique

1. Le microscope

1.1. Présentation du microscope

Le microscope est un instrument d'optique destiné à observer des objets ou des détails d'objets dont les tailles sont de l'ordre du micromètre (rappel : $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$).



Définitions à connaître :

- ▶ **L'objectif** est une association convergente de lentilles. C'est la partie optique qui recueille la lumière issue de **l'objet** observé.
- ▶ **L'oculaire** est une association convergente de lentilles. C'est la partie optique derrière laquelle il faut placer son **œil** pour voir l'image formée par l'instrument.

1.2. Modèle optique du microscope

La mise au point

Pour être observable à par l'œil sans effort d'accommodation, l'image donnée par le microscope doit se former à l'infini. Les molettes représentées à gauche du schéma ci-dessus permettent de faire varier la distance objet – oculaire jusqu'à ce que cette condition soit réalisée : on dit alors que le microscope est mis au point.

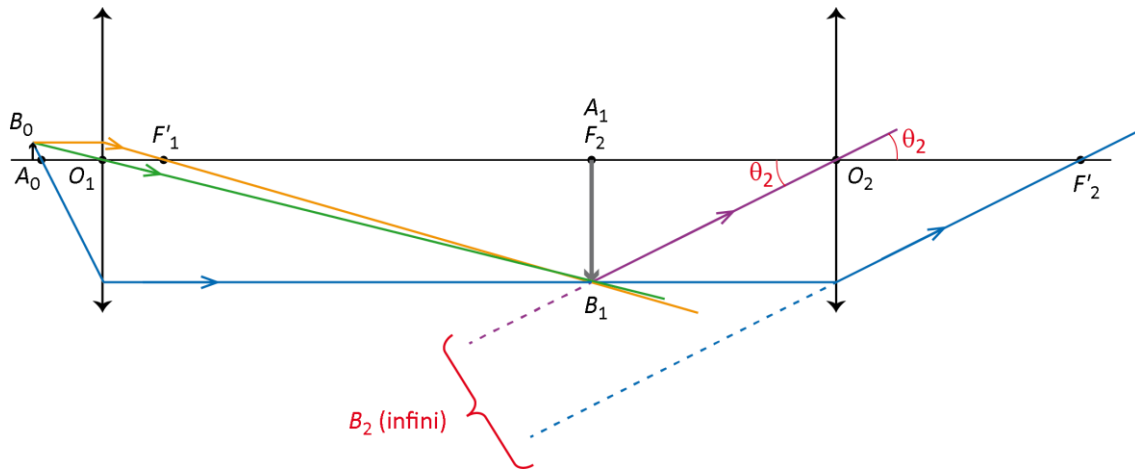
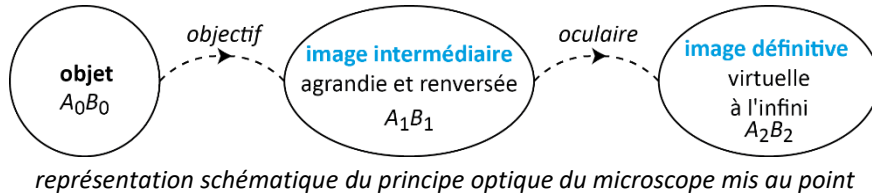
Le microscope est **mis au point** lorsque l'image formée par l'oculaire est **à l'infini**.

Objectif et oculaire

- L'objectif est modélisé par **une** lentille convergente, notée L_1 , de centre optique O_1 , de foyers F_1 et F'_1 et de distance focale f'_1 .
- L'oculaire est modélisé par **une** lentille convergente, notée L_2 , de centre optique O_2 , de foyers F_2 et F'_2 et de distance focale f'_2 .

Formation d'une image par le microscope mis au point

- On note A_0B_0 l'objet observé.
- L'objectif donne de A_0B_0 une image A_1B_1 réelle et agrandie, appelée **image intermédiaire**.
- Cette image intermédiaire est un objet pour l'oculaire.
- L'oculaire donne de A_1B_1 une image A_2B_2 virtuelle et à l'infini, appelée image définitive.



1.3. Grossissement du microscope

Définition du grossissement

Le grossissement (souvent appelé « grossissement commercial ») du microscope est défini par la relation :

$$G = \frac{\theta_2}{\theta_0}$$

- θ_2 : diamètre apparent de l'image définitive donnée par le microscope (angle en radian) ;
- θ_0 : diamètre apparent qu'aurait l'objet si on l'observait à l'œil nu en le plaçant à la distance $d_m = 25$ cm (distance minimale de vision distincte).

Sens physique du grossissement : on considère que c'est en le plaçant à 25 cm de notre œil qu'un objet est vu avec le diamètre apparent le plus élevé, sans que l'effort d'accommodation ne soit douloureux. Si un microscope a un grossissement de 100, cela signifie que l'image qu'il donne a un diamètre apparent 100 plus élevé que l'objet observé à l'œil nu à 25cm.

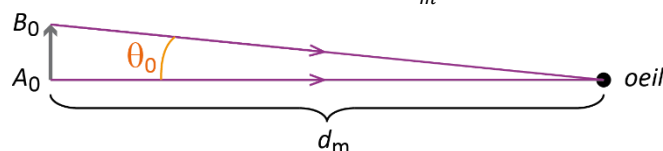
Différentes expressions du grossissement

Pour exprimer le diamètre apparent de l'image définitive, considérons le triangle $A_1O_2B_1$ (rectangle en O_2) sur la figure précédente :

$$\theta_2 \approx \tan \theta_2 = \frac{A_1B_1}{O_2F_2} = \frac{A_1B_1}{f'_2}$$

Observé à l'œil nu à la distance $d_m = 25$ cm, l'objet a un diamètre apparent de valeur :

$$\theta_0 \approx \tan \theta_0 = \frac{A_0B_0}{d_m}$$



Le grossissement vaut donc :

$$G = \frac{\theta_2}{\theta_0} = \frac{A_1 B_1}{f_2'} \frac{d_m}{A_0 B_0} = \underbrace{\frac{A_1 B_1}{A_0 B_0}}_{\text{grossissement de l'objectif}} \times \underbrace{\frac{d_m}{f_2'}}_{\text{grossissement de l'oculaire}} = \gamma_{\text{objectif}} \times G_{\text{oculaire}}$$

On peut aussi exprimer le grossissement du microscope en fonction de son intervalle optique, défini par : $\Delta = F_1' F_2$

L'application du théorème de Thalès dans les triangles $A_1 B_1 F_1'$ et $A_0 B_0 O_1$ donne :

$$\frac{A_1 B_1}{A_0 B_0} = \frac{F_1' F_2}{O_1 F_1'} = \frac{\Delta}{f_1'}$$

La relation précédente devient donc :

$$G = \frac{\Delta \times d_m}{f_1' \times f_2'}$$

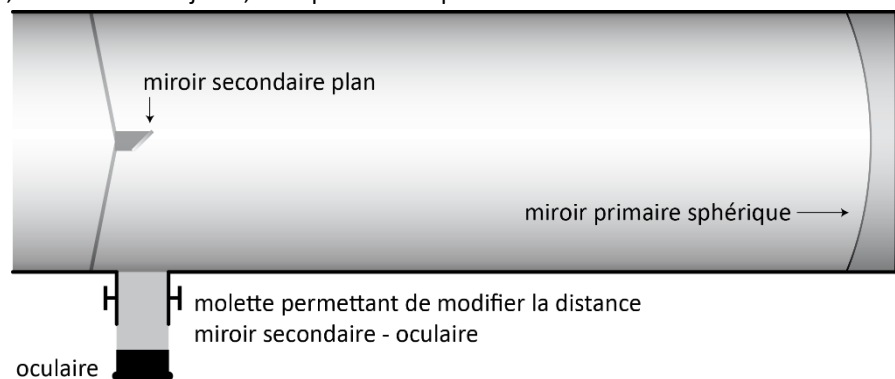
Elle montre que le grossissement est d'autant plus élevé que :

- les distances focales de l'objectif et de l'oculaire sont courtes ;
- l'intervalle optique est élevé.

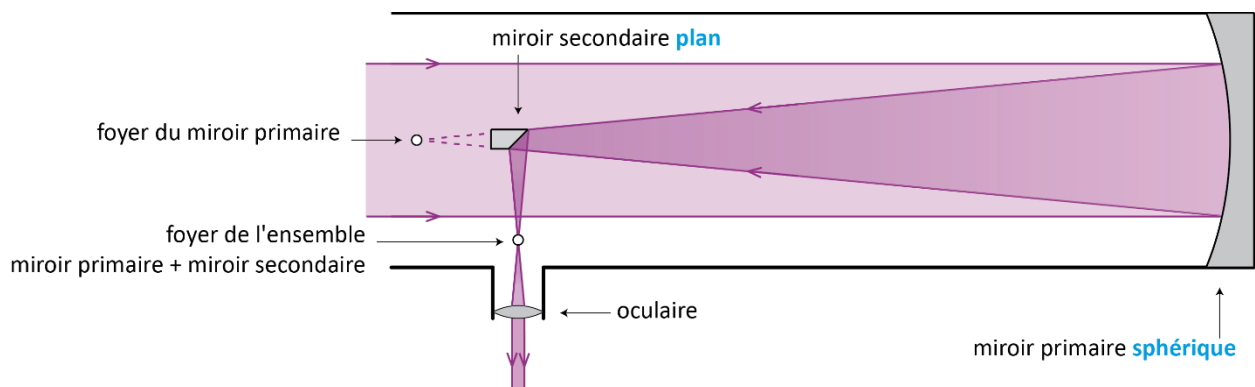
2. Le télescope de Newton

2.1. Présentation du télescope de Newton

Le télescope est un instrument destiné à observer les astres. Le modèle mis au point par Newton, est constitué d'un miroir primaire sphérique concave, constituant l'objectif, d'un petit miroir plan et d'un oculaire constitué de lentilles.



La lumière issue de l'astre observé est collectée par le miroir primaire convergent. Le faisceau réfléchi par ce miroir est dévié de 90° par un petit miroir plan, avant de traverser l'oculaire :



trajet d'un faisceau parallèle dans le télescope de Newton

- ▶ **L'objectif** est un miroir convergent. C'est la partie optique qui recueille la lumière issue de **l'objet** observé.
- ▶ **L'oculaire** est une association convergente de lentilles. C'est la partie optique derrière laquelle il faut placer son **œil** pour voir l'image formée par l'instrument.

2.2. Modèle optique du télescope

La mise au point

Pour être observable par l'œil sans effort d'accommodation, l'image donnée par le télescope doit se former à l'infini. La molette représentée en bas du schéma ci-dessus permet de faire varier la distance miroir secondaire – oculaire jusqu'à ce que cette condition soit réalisée : on dit alors que le télescope est mis au point.

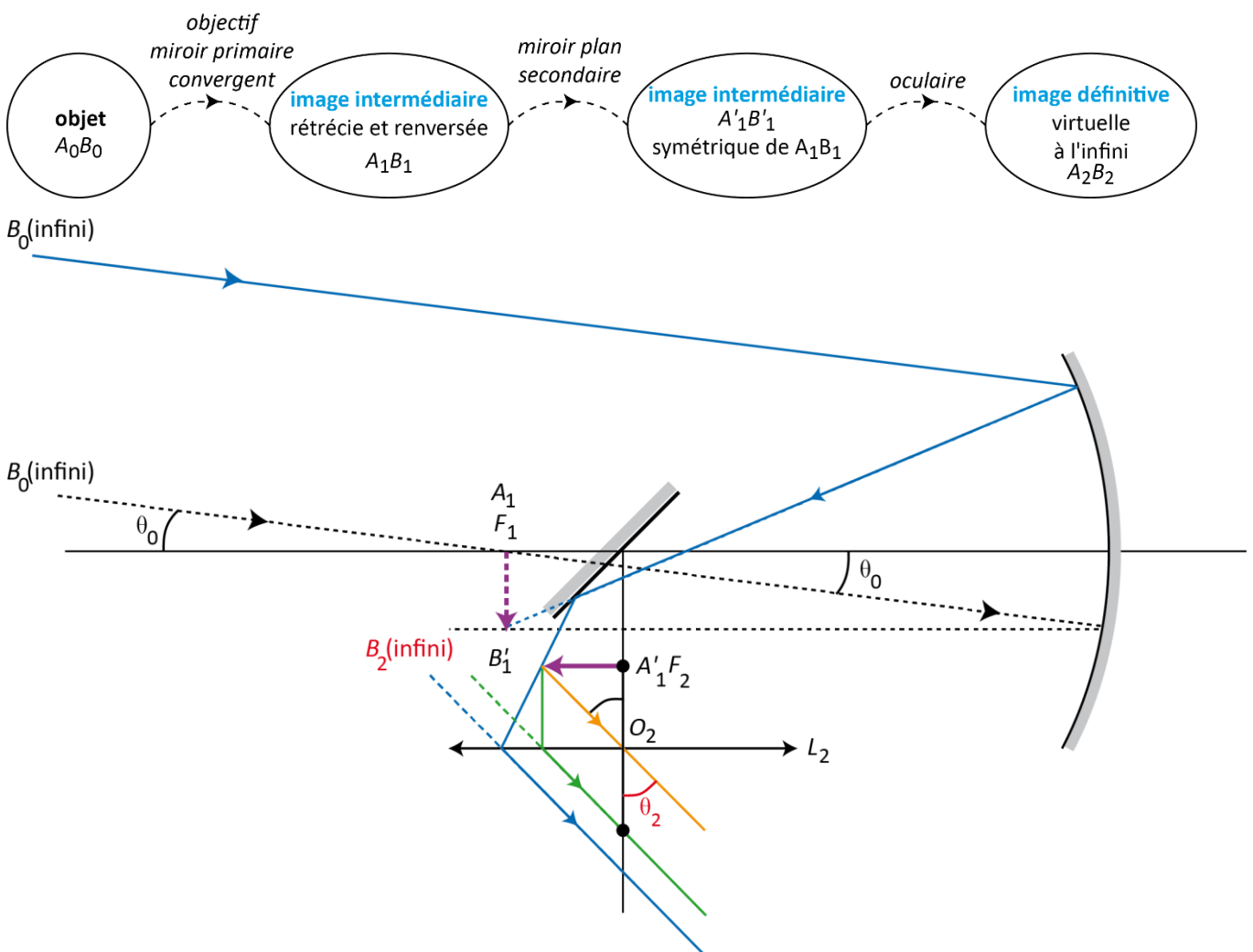
Le télescope est **mis au point** lorsque l'image formée par l'oculaire est à l'infini.

Objectif et oculaire

- L'objectif est modélisé par un miroir sphérique concave, donc convergent, de centre C_1 , de foyer F_1 et de distance focale f_1' .
- L'oculaire est modélisé par une lentille convergente, notée L_2 , de centre optique O_2 , de foyers F_2 et F_2' et de distance focale f_2' .

Formation d'une image par le microscope mis au point

- L'objet observé est modélisé comme un objet plan A_0B_0 à l'infini.
- L'objectif donne de A_0B_0 une image A_1B_1 réelle et rétrécie, formée dans son plan focal et appelée **image intermédiaire**.
- Le miroir secondaire plan donne de A_1B_1 une seconde image intermédiaire $A_1'B_1'$, **symétrique de A_1B_1** par rapport au plan du miroir.
- Cette seconde image intermédiaire est un objet pour l'oculaire, située dans son plan focal objet.
- L'oculaire donne de $A_1'B_1'$ une image A_2B_2 virtuelle et à l'infini, appelée **image définitive**.





2.3. Grossissement du télescope

Définition du grossissement

Le grossissement du télescope est défini par la relation :

$$G = \frac{\theta_2}{\theta_0}$$

- θ_2 : diamètre apparent (angle en radian) de l'image définitive donnée par le télescope ;
- θ_0 : diamètre apparent de l'objet à l'infini observé à l'œil nu.

Expression du grossissement en fonction des distances focales

Pour exprimer le diamètre apparent de l'image définitive, considérons le triangle $A'_1O_2B'_1$ (rectangle en O_2) sur la figure précédente :

$$\theta_2 \approx \tan \theta_2 = \frac{A'_1B'_1}{O_2F_2} = \frac{A_1B_1}{f'_2}$$

Le diamètre apparent de l'objet vaut :

$$\theta_0 = \frac{A_1B_1}{S_1F_1} = \frac{A_1B_1}{f'_1}$$

Le grossissement vaut donc :

$$G = \frac{A_1B_1}{f'_2} \times \frac{f'_1}{A_1B_1} = \frac{f'_1}{f'_2}$$

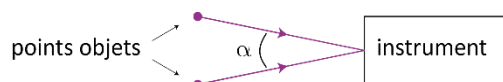
Le grossissement du télescope est égal à la distance focale de l'objectif divisée par celle de l'oculaire utilisé. Un changement de grossissement s'effectue donc en changeant d'oculaire : plus sa distance focale est faible, plus le grossissement est élevé.

3. Pouvoir séparateur des instruments d'optique

3.1. Définition du pouvoir séparateur

Le pouvoir séparateur d'un instrument d'optique (ou de l'œil) est l'angle minimal entre deux points objets pouvant être nettement distingués.

Plus cet angle est faible, meilleure est la qualité de l'instrument car celui-ci permet l'observation de détails fins.



Pour l'œil humain, ce pouvoir séparateur vaut en moyenne 3×10^{-4} rad : ceci signifie que si deux détails d'un objet sont séparés d'un angle inférieur à cette valeur, nous ne pouvons pas les distinguer.

3.2. Lien entre le pouvoir séparateur et le phénomène de diffraction

Le pouvoir séparateur des instruments est limité par le phénomène de **diffraction du faisceau de lumière à l'entrée de l'instrument**.

On rappelle (voir [partie G](#)) que la diffraction est d'autant moins importante que l'ouverture qui limite le faisceau est grande.

Donc :

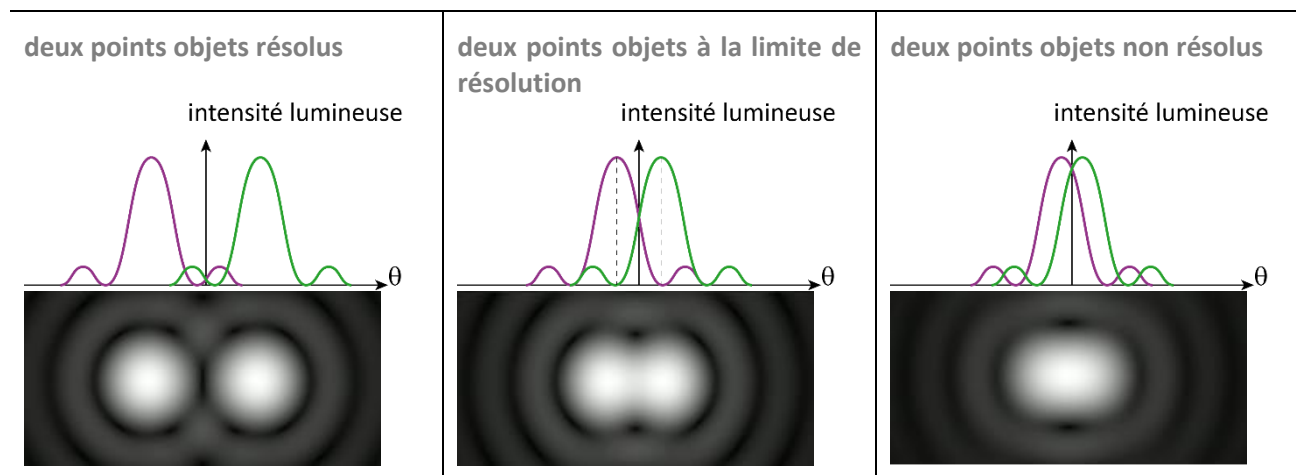
Plus l'objectif d'instrument a un diamètre élevé, moins la diffraction est importante et plus le pouvoir séparateur est faible (et donc plus les détails apparaissent nettement).

Remarque : cela explique que les astrophysiciens soient amenés à concevoir des télescopes dont les diamètres sont de plus en plus élevés.

Expression du pouvoir séparateur théorique d'un instrument

Remarque préliminaire : on parle de pouvoir séparateur « théorique » car la diffraction n'est pas le seul phénomène limitant la résolution des instruments. Les aberrations des lentilles et des miroirs, les défauts d'alignement, etc., sont autant de facteurs qui contribuent à limiter aussi la netteté des images formées.

On considère que deux points objets sont résolus, c'est-à-dire qu'on peut les distinguer, si les taches centrales de diffraction de leurs faisceaux par l'objectif de l'instrument ne se chevauchant pas de plus de la moitié de leur diamètre :



source images : Wikipédia

Le pouvoir séparateur théorique d'un instrument d'optique est donc égal à la demi-ouverture du faisceau diffracté par son objectif. Il vaut donc :

$$\theta_{\text{théorique}} = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

λ étant la longueur d'onde du rayonnement et D le diamètre de l'objectif de l'instrument, aussi appelé « diamètre d'ouverture ».