

# OPTIQUE

## LA LUNETTE ASTRONOMIQUE

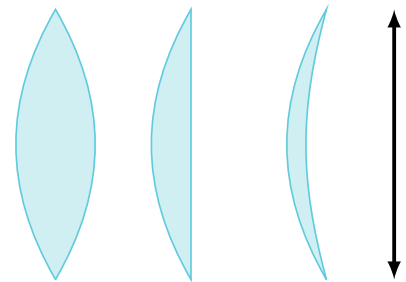
### 1 - Les lentilles minces

#### 1.1- Différents types de lentilles

Une lentille est un milieu transparent limité par deux dioptries, les deux peuvent être sphériques ou l'un est sphérique et l'autre est plan (on les nomme souvent lentilles sphériques).

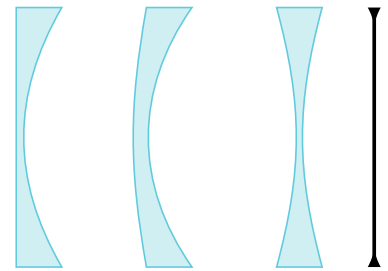
Les lentilles à bord mince et centre épais sont appelées lentilles convergentes.

De gauche à droite: Biconvexe, Plan convexe, Ménisque convergent, symbole de la lentille convergente.



Les lentilles à bord épais et centre mince sont appelées lentilles divergentes.

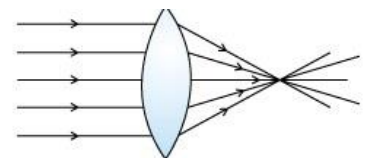
De gauche à droite: Biconcave, Plan concave, Ménisque divergent, symbole de la lentille divergente.



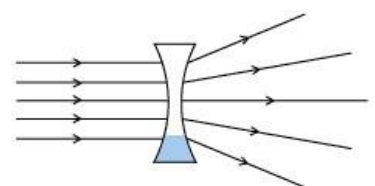
Une lentille a la propriété de changer la direction de propagation de la lumière du fait de la réfraction qui se produit sur chaque dioptre de celle-ci.

Si on dispose une lentille à 1 cm environ au-dessus d'un texte, on constate que les lettres observées à travers une lentille à bords minces, sont agrandies (effet de loupe). Il se produit l'effet inverse avec une lentille à bords épais.

Une lentille à bords minces transforme un faisceau de rayons lumineux parallèles en un faisceau convergent immédiatement après la lentille: cette lentille est convergente.



Une lentille à bords épais transforme un faisceau de rayons lumineux parallèles en un faisceau divergent immédiatement après la lentille: cette lentille est divergente.



## 1.2- Les lentilles minces convergentes

### a- Caractéristiques des lentilles minces convergentes

**Centre optique:** Tout rayon qui passe par le centre  $O$  d'une lentille n'est pas dévié. Le point  $O$  est appelé centre optique de la lentille. Pour les lentilles que nous utiliserons  $O$  est le centre géométrique.

**Axe optique principal:** C'est la droite passant par  $O$  et par le centre de courbure d'une des faces sphériques. C'est l'axe de symétrie de la lentille. Par convention, on oriente l'axe optique dans le sens de propagation de la lumière et on choisit pour origine le centre optique  $O$ .

**Foyer image:** Tout rayon incident parallèle à l'axe optique principal converge en un point appelé foyer image et noté  $F'$ .

**Plan focal image:** C'est le plan perpendiculaire à l'axe optique et contenant le foyer image  $F'$ .

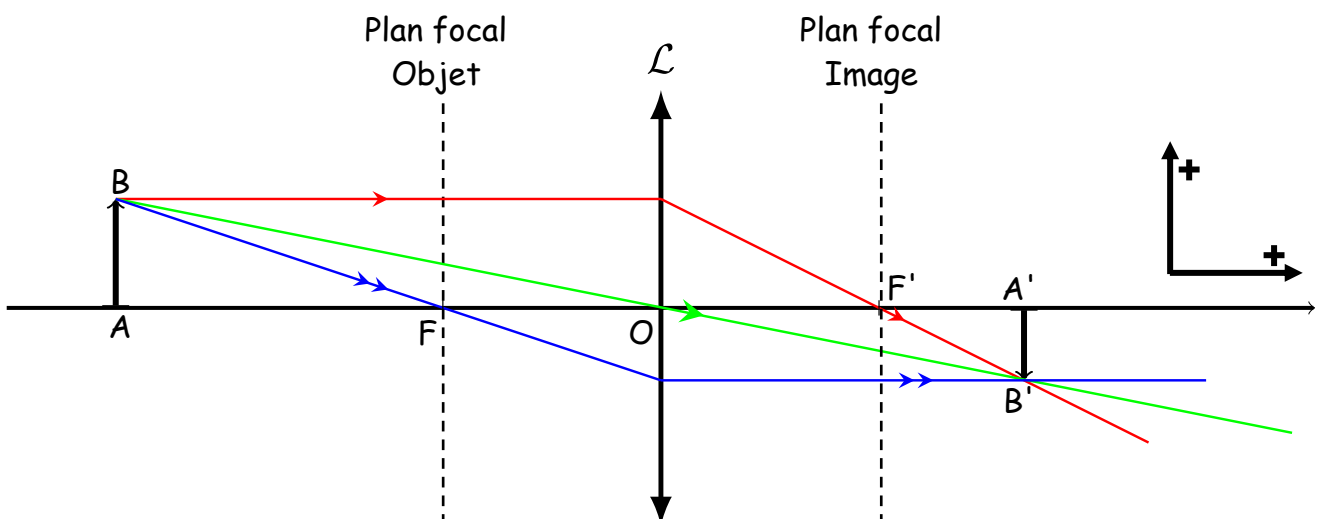
**Distance focale image:** C'est la distance séparant le centre  $O$  du foyer image  $F'$ . C'est une grandeur algébrique  $f' = \overline{OF'} > 0$ . Son unité est le mètre.

**Foyer objet:** Un rayon lumineux issu d'un point particulier de l'axe optique, noté  $F$ , émerge parallèlement à l'axe.  $F$  est appelé foyer objet, c'est le symétrique de  $F'$  par rapport à  $O$ .

**Plan focal objet:** C'est le plan perpendiculaire à l'axe optique et contenant le foyer objet  $F$ .

**Distance focale objet:** C'est la distance séparant le centre  $O$  du foyer objet  $F$ . C'est une grandeur algébrique notée  $f$  telle que  $f = \overline{OF} = -\overline{OF'} < 0$ . Son unité est le mètre.

**Vergence:** Elle est égale à l'inverse de  $f'$  et s'exprime en dioptries  $C = \frac{1}{f'}$ . Une lentille est d'autant plus convergente que sa vergence est grande.



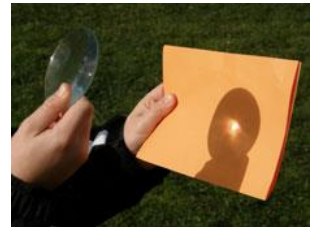
Une lentille convergente comporte donc deux foyers, appelés foyer principal objet et foyer principal image:

- Tout rayon incident passant par  $F$ , foyer principal objet, émerge parallèle à l'axe optique. Ce foyer a donc son image à l'infini.
- Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge en passant par  $F'$ , foyer principal image. Ce foyer est donc l'image d'un objet à l'infini.
- Ces foyers sont symétriques par rapport au centre optique de la lentille.

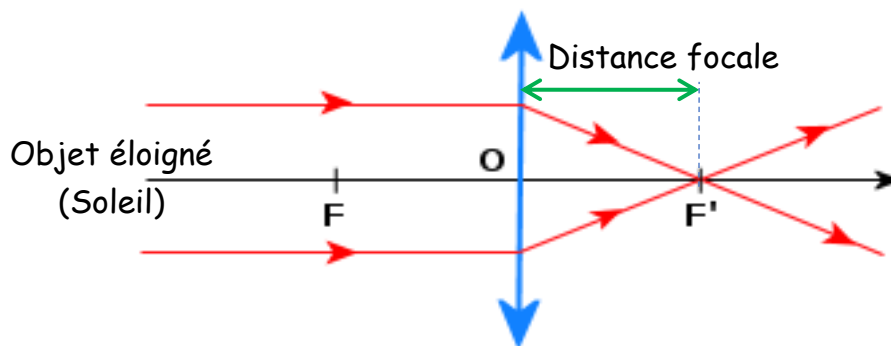
**Remarque:** Pour repérer les positions des points objets et images, on oriente l'axe optique et on introduit un outil mathématique qui est la mesure algébrique. Cette grandeur est notée positivement dans le sens de propagation de la lumière et suivant le sens de l'objet.

### b- Détermination de la distance focale

Une méthode approximative, mais simple à réaliser: lorsqu'on obtient sur un écran une image nette d'un objet lumineux très éloigné, dont les rayons proviennent de l'infini, comme le Soleil par exemple, alors la distance mesurée entre la lentille et l'écran, sera la distance focale  $f' = \overline{OA'} = \overline{OF'}$  de cette lentille convergente.

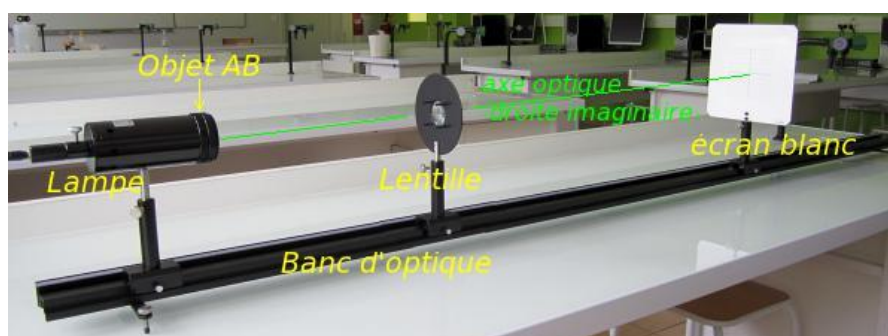


L'image d'un objet se trouvant à l'infini se forme dans le plan focal image.

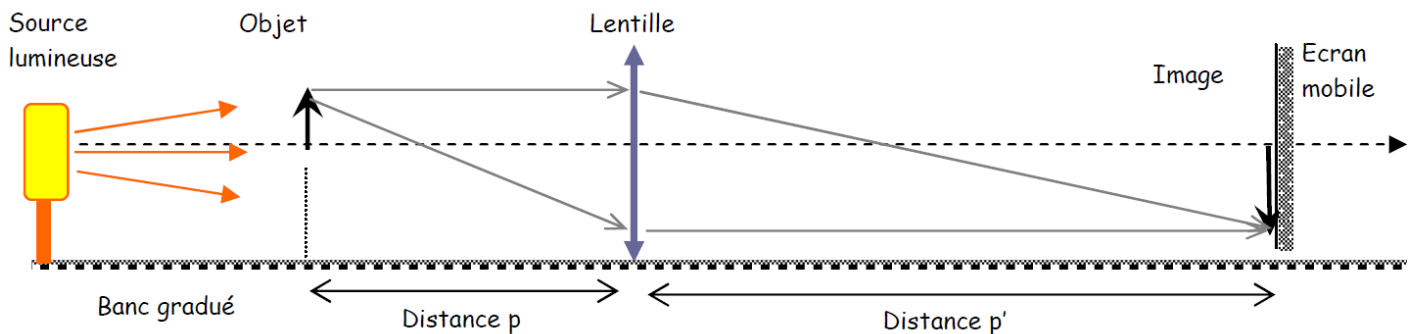


### c- Production d'une image réelle

Produire sur un écran l'image d'un objet est relativement facile. On réalise le montage ci-dessous.



La lentille convergente étant fixe sur le banc optique, on déplace l'objet et l'écran de façon à obtenir une image nette. On réalise plusieurs mesures des distances  $p$  et  $p'$ .



Après exploitation des données on obtiendra la relation:

$$\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$$

Où  $f'$  est la distance focale image de la lentille convergente.

**Remarque:** Cette relation est appelée relation de conjugaison de Descartes.

#### d- Construction d'une image réelle

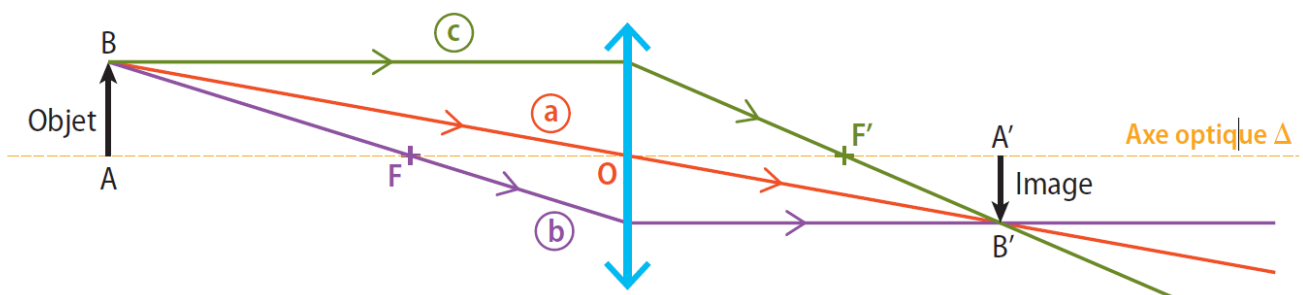
Par convention, la lumière se propage de la gauche vers la droite.

Un objet plan droit **AB** perpendiculaire à l'axe optique est situé à gauche du foyer objet **F**.

Une lentille mince convergente forme son image sur un écran.

On construit graphiquement cette image à partir de deux rayons particuliers parmi les trois suivants:

- Le rayon issu de **B** (a) passant par **O** n'est pas dévié.
- Le rayon issu de **B** (b) passant par le foyer objet **F** émerge de la lentille parallèlement à l'axe optique.
- Le rayon issu de **B** (c) parallèle à l'axe optique émerge de la lentille en passant par le foyer image **F'**.



L'intersection de ces rayons définit l'image **B'** du point **B**, extrémité de l'objet.

Le point **A'** image du point **A** est à l'intersection de l'axe optique et de la perpendiculaire à l'axe passant par **B'**.

L'image **A'B'** est dite réelle car elle est observable sur un écran. Cette image est dite renversée si elle est de sens opposé à celui de l'objet et droite si elle est de même sens.

Après exploitation des données on obtiendra la relation de conjugaison de Descartes sous sa forme algébrique:

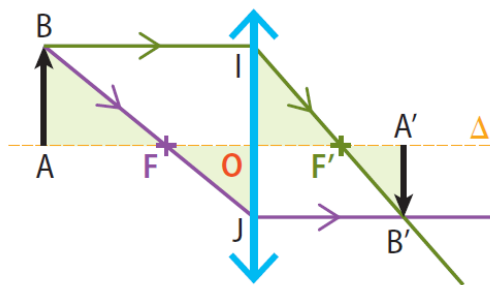
$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{f'}$$

### e- Le grandissement

Le grandissement, noté  $\gamma$ , est le rapport entre la taille de l'image **A'B'** et la taille de l'objet **AB**:

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

Le grandissement qui n'a pas d'unité est inférieur à 1 si l'image est plus petite que l'objet et supérieur à 1 dans le cas contraire.



### f- Quelques remarques

Lors des calculs il ne faudra pas oublier de tenir compte que valeurs algébriques possèdent un signe.

Dans les formules précédents, les quantités  $\overline{OA'}$ ,  $\overline{OA}$ ,  $\overline{AB}$ ,  $\overline{A'B'}$ ,  $\overline{OF}$  et  $\overline{OF'}$  sont des grandeurs algébriques. Il faudra donc en tenir compte dans les différents calculs.

La position, la taille, le grandissement et le sens de l'image sont les caractéristiques de l'image. Elles sont déterminées graphiquement ou calculées à partir des relations de conjugaison et de grandissement.

La relation de conjugaison permet de déterminer la distance focale de la lentille mince convergente.

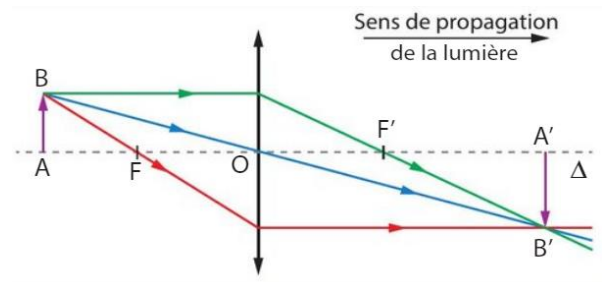
Pour réaliser une mise au point, on peut soit modifier la distance focale de la lentille mince convergente, soit modifier la géométrie du montage optique, c'est à dire les distances objet-lentille ou lentille-écran.

### 1.3- Quelques cas particuliers

#### a- Objet AB situé avant le foyer

On considère le cas schématisé ci-contre.

L'image formée à travers la lentille peut être observée sur un écran. On dit alors que l'image est réelle.

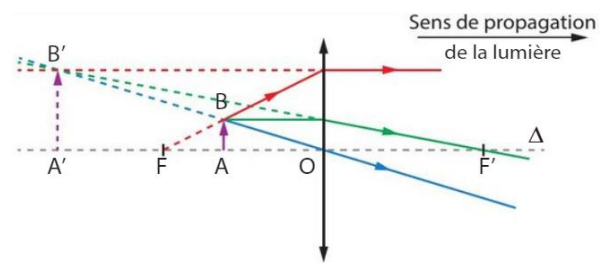


- Si  $\gamma < 0$  alors l'image est renversée.
- Si  $|\gamma| < 1$  alors l'image est plus petite que l'objet.
- Si  $|\gamma| > 1$  alors l'image est plus grande que l'objet.

#### 3.2- Objet AB situé entre le foyer objet et le centre optique O

On considère le cas schématisé ci-contre.

L'image formée à travers la lentille ne peut être observée sur un écran. On dit alors que l'image est virtuelle.



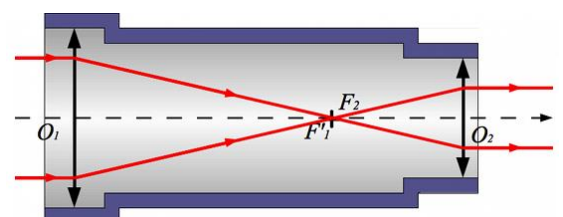
- Si  $\gamma > 0$  alors l'image est droite.
- Si  $|\gamma| > 1$  alors l'image est plus grande que l'objet.

## 4- Quelques instruments optiques simples

### 4.1- La lunette astronomique

Une lunette astronomique est constituée de deux lentilles:

- Une lentille objectif, en entrée de l'instrument, qui capte la lumière de l'astre et en fait l'image à son foyer.
- Une lentille oculaire, en sortie, qui, nous l'avons déjà vu, rejette l'image de l'astre à l'infini afin d'en faciliter son observation à l'œil.



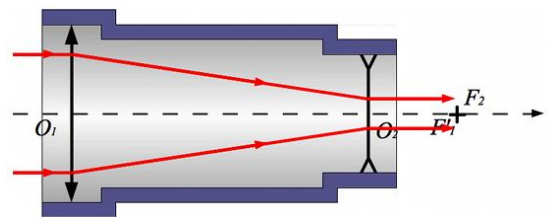
Dans le cas d'une lunette astronomique, les deux lentilles sont convergentes, et l'image de l'astre sera inversée.



### b- La lunette de Galilée

La lunette de Galilée se distingue par la nature de la lentille oculaire. Cette dernière est ici divergente. L'image en sortie sera droite.

À focale équivalente, la lunette de Galilée sera plus courte.



Dans le cas d'une lunette de Galilée, une des lentilles est convergente et l'autre divergente, et l'image de l'astre sera droite.



## 5- La lunette astronomique

### 5.1- Constitution

Une lunette astronomique permet d'observer des objets lointains. Elle est composée de deux systèmes optiques convergents.

Une lunette astronomique comporte un objectif situé du côté de l'objet observé et un oculaire situé du côté de l'œil.

La mise au point, lors de l'observation, se fait en modifiant la longueur du tube entre l'oculaire et l'objectif.

Objectif : d'un diamètre aussi important que possible car chargé de collecter le maximum de lumière provenant de l'astre situé à l'infini

Chercheur : permet d'aligner la visée sur l'astre que l'on souhaite observer



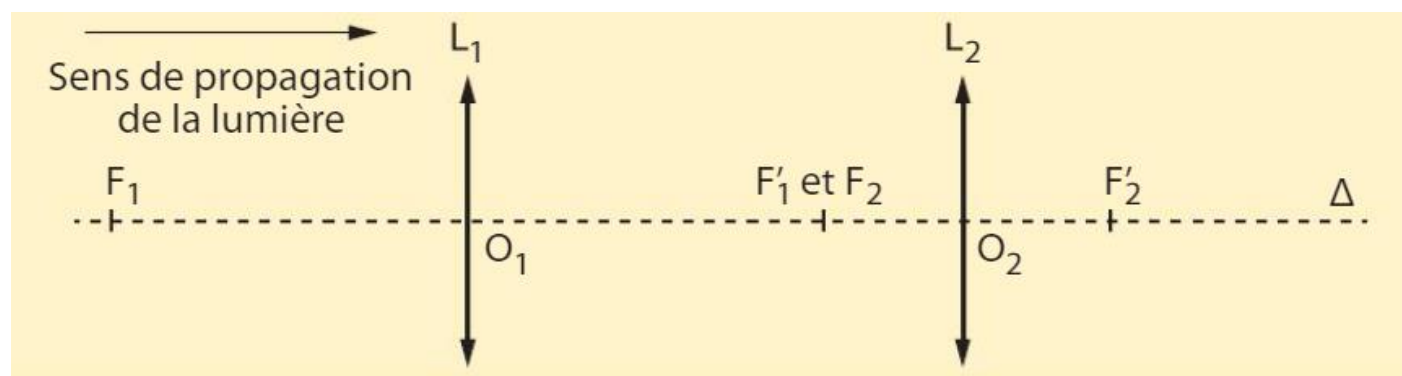
Oculaire : agit comme une loupe, peut être remplacé par une caméra



## 5.2- Modélisation

L'objectif et l'oculaire d'une lunette astronomique sont modélisés par deux lentilles minces convergentes  $L_1$  et  $L_2$  ayant le même axe optique.

Lorsque le foyer image  $F'_1$  de l'objectif et le foyer objet  $F_2$  de l'oculaire sont confondus, la lunette est dite afocale.



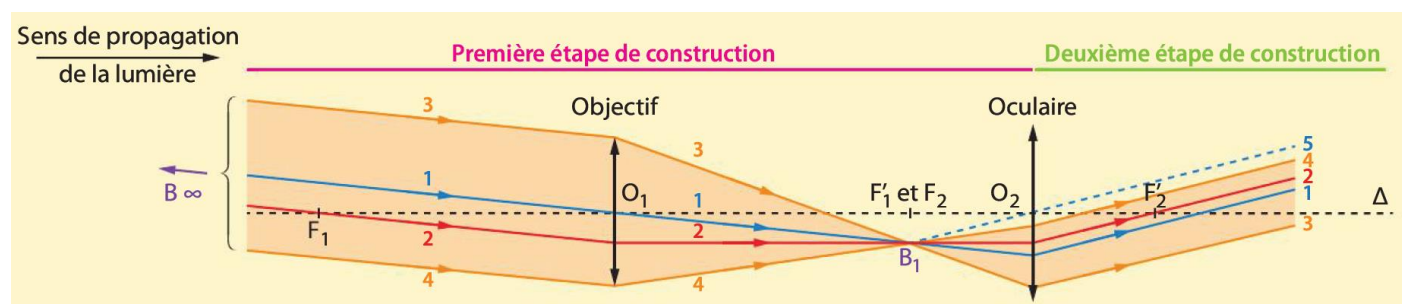
La distance focale  $f'_1$  de l'objectif est plus grande que la distance focale  $f'_2$  de l'oculaire.

## 6- La construction du faisceau traversant une lunette afocale

On admet qu'un point objet  $B$  infiniment éloigné de l'objectif émet un faisceau lumineux parallèle vers l'objectif.

L'objectif donne de ce point objet, un point  $B_1$  appelé image intermédiaire.

Ce point image sert ensuite de point objet pour l'oculaire, qui se comporte comme une loupe. L'oculaire forme alors l'image finale  $B'$  de l'objet.



Etape 1 – Pour construire le faisceau émergeant de l'objectif il faut:

- Tracer le rayon (1) issu de  $B$  passant par  $O_1$ , non dévié.
- Tracer le rayon (2) issu de  $B$  passant par le foyer  $F_1$  qui émerge de l'objectif parallèlement à l'axe optique.
- Placer le point  $B_1$ , image du point  $B$ , situé à l'intersection des rayons (1) et (2).



- Tracer les rayons (3) et (4) issus de B et s'appuyant sur la monture de l'objectif. Ils passent par B<sub>1</sub>.
- Poursuivre tous les rayons jusqu'à l'oculaire.

Etape 2 - Pour construire le faisceau émergent de l'oculaire il faut:

- Tracer le rayon (5) issu de B<sub>1</sub> passant par O<sub>2</sub>, non dévié.
- Prolonger le rayon (2) émergent de l'oculaire qui coupe l'axe optique au foyer F'<sub>2</sub>.
- Prolonger les rayons (3) et (4) émergent de l'oculaire qui sont parallèles aux rayons (2) et (5).
- Colorer le faisceau délimité par les rayons (3) et (4) s'appuyant sur les bords de la monture de l'objectif.

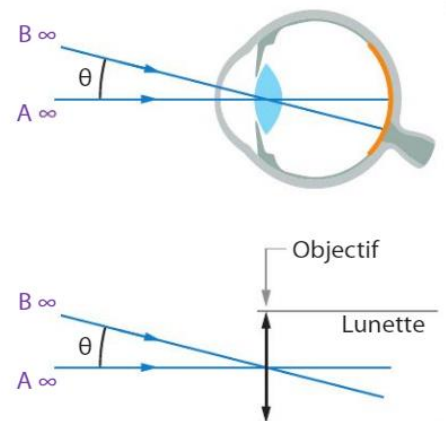
Le faisceau incident de rayons parallèles émerge de la lunette en un faisceau de rayons parallèles, ce qui caractérise un système afocal.

## 7- Le grossissement d'une lunette afocale

Le grossissement d'une lunette est une grandeur sans unité liée aux angles sous lesquels on observe l'objet à l'œil nu et son image à travers l'instrument.

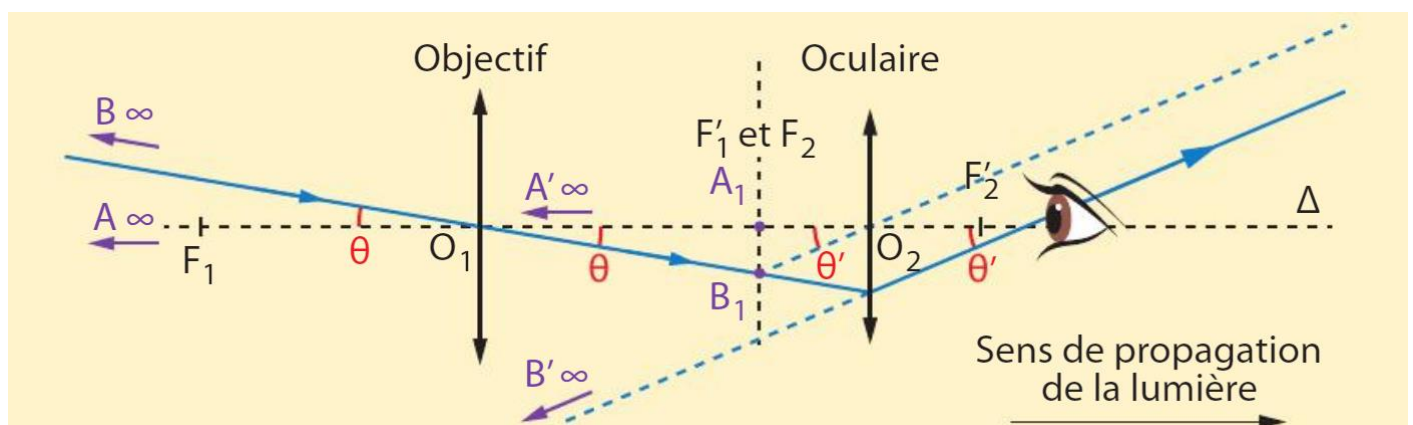
L'objet AB est vu à l'œil nu sous l'angle  $\theta$  et l'image A'B' est vue à travers la lunette sous l'angle  $\theta'$  (schéma ci-dessous).

L'objet AB étant situé à l'infini, il est vu sous le même angle  $\theta$  à l'œil nu ou par l'objectif de la lunette.



Le grossissement  $G$  d'une lunette est défini par:

$G = \frac{\theta'}{\theta}$	<p><math>G</math>: Grossissement (sans unité)</p> <p><math>\theta</math>: Angle suivant lequel est vu un objet AB (<math>^\circ</math> ou rad)</p> <p><math>\theta'</math>: Angle suivant lequel est vu l'image A'B' à travers la lunette (<math>^\circ</math> ou rad)</p>
------------------------------	--



Il est facile de démontrer l'expression du grossissement d'une lunette afocale.

Le point  $A_1$  image du point  $A$  donnée par l'objectif est confondu avec le foyer image  $F'_1$  de l'objectif et avec le foyer objet  $F_2$  de l'oculaire.

L'image  $A_1B_1$  de l'objet  $AB$  est perpendiculaire à l'axe optique.

Dans le triangle  $O_1F'_1B_1$  rectangle en  $F'_1$ :

$$\tan \theta = \frac{F'_1B_1}{O_1F'_1}$$

Dans le triangle  $O_2F_2B_1$  rectangle en  $F_2$ :

$$\tan \theta' = \frac{F_2B_1}{O_2F_2}$$

Les angles  $\theta$  et  $\theta'$  sont petits.

S'ils sont exprimés en radian, on peut considérer que:

$$\tan \theta \approx \theta \quad \text{et} \quad \tan \theta' \approx \theta'$$

D'où:

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\tan \theta'}{\tan \theta} = \frac{\frac{F_2B_1}{O_2F_2}}{\frac{F'_1B_1}{O_1F'_1}} = \frac{O_1F'_1}{O_2F_2} \quad \text{car} \quad F'_1B_1 = F_2B_1$$

$O_1F'_1$  est la distance focale  $f'_1$  de la lentille objectif et  $O_2F_2$  est la distance focale  $f'_2$  de la lentille oculaire.

Le grossissement d'une lunette afocale s'écrit donc:

$G = \frac{f'_1}{f'_2}$	<p><math>G</math>: Grossissement (sans unité)</p> <p><math>f'_1</math>: Distance focale de la lentille objectif (m)</p> <p><math>f'_2</math>: Distance focale de la lentille oculaire (m)</p>
-------------------------	---

Remarque: Pour que  $G > 1$ , il faut que  $f'_1 > f'_2$ .

Une lunette afocale donne d'un objet  $AB$  à l'infini une image  $A'B'$  à l'infini.

Cette image  $A'B'$  à l'infini devient l'objet pour l'œil qui peut l'observer sans accommoder. L'œil ne fatigue pas.

Une lunette astronomique est caractérisée par deux nombres:

- Le diamètre de son objectif exprimé en millimètre.
- La distance focale de son objectif exprimé en millimètre.
- La distance focale des oculaires.

Les caractéristiques d'une lunette permettent notamment de calculer son grossissement dans le cas d'une utilisation en tant que lunette afocale.

L'objectif de la lunette ci-contre a un diamètre de **70 mm** et une distance focale de **700 mm**. Cette lunette est livrée avec deux oculaires, de distance focale **25 mm** et **40 mm**

