

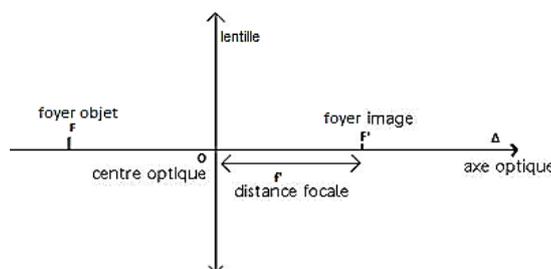
## But de l'activité : Découvrir le principe de la lunette astronomique et la notion de grossissement.

La lunette astronomique est l'un des premiers instruments optiques créés pour observer les objets lointains. L'un des rôles d'une lunette astronomique est de rendre l'image d'un astre plus grosse que lorsqu'on observe cet astre à l'œil nu.

### Rappels : Règles et relations en optique géométrique

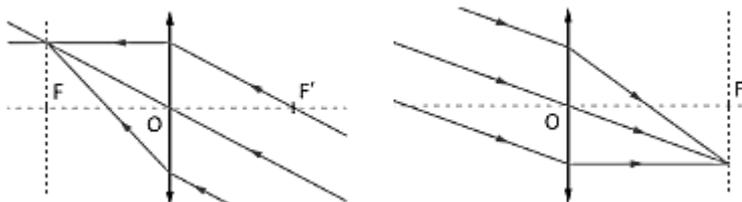
Une lentille est un milieu transparent limité par deux surfaces non parallèles entre elles. L'axe optique de la lentille est orienté dans le sens de propagation des rayons lumineux (eux aussi orientés).

Les foyers objet (F) et image (F') sont symétriques l'un à l'autre par rapport à la lentille. Le plan perpendiculaire à l'axe optique passant par le foyer (objet ou image) est appelé plan focal. La distance algébrique  $\overline{OF'}$  (donc orientée : positive dans le sens de l'axe optique, négative dans le sens inverse) entre le centre optique O et le foyer image F' est appelé distance focale et se note f'.



Pour une lentille convergente, les règles de construction des rayons sont les suivantes :

- Les rayons incidents passant par le centre optique ne sont pas déviés.
- Tous rayons incidents parallèles entre eux croisent le plan focal image en un même point, et vice-versa. En particulier, les rayons incidents parallèles à l'axe optique émergent en passant par le foyer image F'.
- Tous rayons émergents parallèles entre eux croisent le plan focal objet en un même point, et vice-versa. En particulier, les rayons incidents passant par le foyer objet F émergent parallèles à l'axe optique.



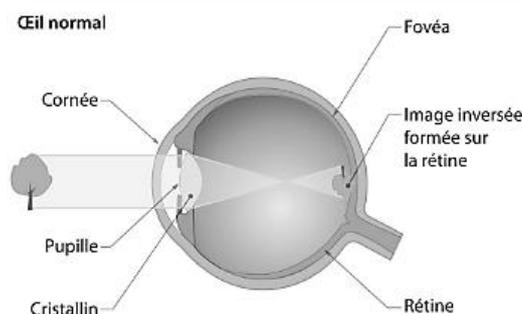
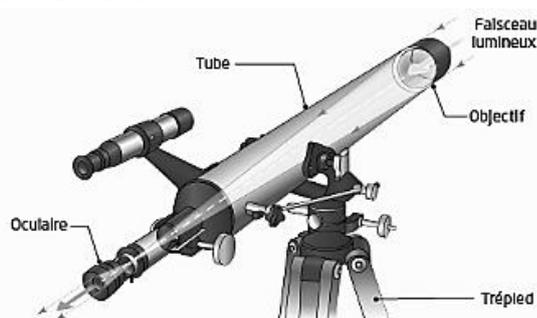
Note : Sur les schémas, on utilise des pointillés pour les rayons « de construction » permettant de trouver l'image d'un objet lorsqu'elle est virtuelle, ou l'image à travers plusieurs lentilles.

La relation de conjugaison de Descartes permet de relier les valeurs algébriques de la distance entre l'objet et la lentille ( $\overline{OA}$  en mètre), la lentille et l'image ( $\overline{OA'}$  en mètre) et la distance focale (f en mètre) :  $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f}$

### Document 1 : Lunette afocale

Une lunette astronomique est constituée de deux lentilles minces convergentes, une première qui reçoit les rayons issus de l'objet (l'objectif) et une seconde derrière laquelle on observe l'image (l'oculaire). Les lentilles sont placées de telle sorte à ce que le foyer objet de l'oculaire coïncide avec le foyer image de l'objectif.

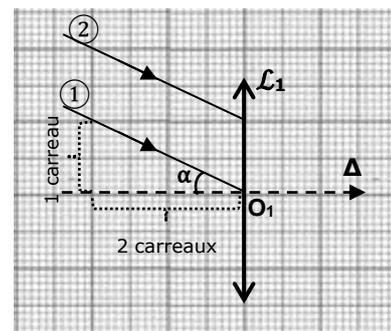
Une lunette astronomique afocale est constituée de telle sorte à ce que les rayons provenant d'un objet « à l'infini » (rayons incidents parallèles) émergent de la lunette parallèles entre eux (image « à l'infini »). En effet, pour qu'un œil observe un objet sans fatigue, les rayons incidents doivent être parallèles entre eux afin que l'image se forme sur la rétine sans accommoder.



## Partie I : Schéma d'une lunette astronomique

Afin de modéliser le trajet des rayons lumineux dans une lunette astronomique, on considère le montage suivant : L'objectif est une lentille  $\mathcal{L}_1$  de distance focale  $f_1 = 25$  cm, à laquelle on associe une lentille  $\mathcal{L}_2$  de distance focale  $f_2 = 10$  cm, correspondant à l'oculaire, placée de telle sorte à ce que le foyer image  $F_1'$  de  $\mathcal{L}_1$  corresponde au foyer objet  $F_2$  de  $\mathcal{L}_2$ .

On propose de tracer un schéma de ce montage à l'échelle  $1/5^{\text{ème}}$  selon l'axe optique et  $1/1$  sur la verticale, sur une feuille de papier millimétré sur laquelle on a tracé un axe optique. On étudie la trajectoire de deux rayons parallèles ① et ② provenant d'un objet à l'infini, dont un passe par le centre optique de  $\mathcal{L}_1$  avec un angle  $\alpha = 22,5^\circ$  par rapport à l'axe optique.



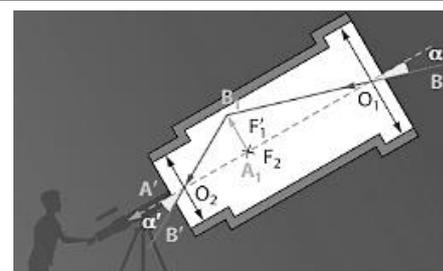
- Déterminer la distance réelle entre  $\mathcal{L}_1$  et  $\mathcal{L}_2$  puis les dessiner sur le schéma, en plaçant les foyers.
- A l'aide des règles de construction pour des rayons incidents parallèles et du rayon ①, tracer les rayons émergents de  $\mathcal{L}_1$  (en les prolongeant jusqu'à  $\mathcal{L}_2$ ).
- A l'aide des règles de construction pour des rayons incidents se croisant dans le plan focal objet et en s'aidant d'un rayon de construction passant par le centre optique de  $\mathcal{L}_2$ , tracer les rayons émergents de  $\mathcal{L}_2$ .
- Justifier que la lunette modélisée est bien une lunette afocale.

## Partie II : Grossissement

### Document 2 : Grossissement

L'objectif principal de la lunette astronomique est d'observer des objets lointains. La taille apparente, souvent associées à des mesures d'astres en astronomie, est l'angle sous lequel est vu un objet à l'œil nu ou à travers un instrument d'optique. Le grossissement caractérise l'augmentation de la taille apparente d'un objet observé par l'instrument. Sa valeur du grossissement (sans unité) correspond alors au rapport de la taille apparente  $\alpha'$  de l'objet observé avec la lunette sur la taille apparente  $\alpha$  de l'image observée sans la lunette :

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



On considère une lunette astronomique dont l'objectif (de distance focale  $f_{\text{objectif}}$ ) et l'oculaire (de distance focale  $f_{\text{oculaire}}$ ) sont modifiables. On mesure alors le grossissement pour différentes valeurs de  $f_{\text{objectif}}$  et  $f_{\text{oculaire}}$  :

Pour $f_{\text{oculaire}} = 4,0$ cm					
$f_{\text{objectif}}$ (cm)	5,0	10,0	20,0	40,0	50,0
$G$	1,3	2,5	5,0	10	13
Pour $f_{\text{objectif}} = 40,0$ cm					
$f_{\text{oculaire}}$ (cm)	2,0	4,0	10,0	15,0	30,0
$G$	20	10	4,00	2,67	1,33

5. Evaluer l'influence des deux distances focales sur la valeur du grossissement et en déduire une relation entre  $G$ ,  $f_{\text{objectif}}$  et  $f_{\text{oculaire}}$ .

6. Sachant que l'œil humain peut voir net tout objet dont le diamètre apparent est supérieur à  $1/60^{\text{ème}}$  de degré, déterminer si le cratère de Kepler peut être observé distinctement à l'œil nu et, le cas échéant, quel grossissement minimal doit être appliqué pour une observation nette à l'aide d'une lunette.

### Document 3 : Le cratère de Kepler

Situé à une distance  $D = 376\,300$  km d'un observateur situé à la surface de la Terre, Kepler est un cratère de la Lune d'un diamètre  $d = 32$  km.



Note : Se placer dans l'approximation des petits angles :  $\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) \approx \alpha$ , avec  $\alpha$  exprimé en radian

7. Pour construire une lunette astronomique, on dispose de plusieurs lentilles de distances focales 5 cm, 10 cm, 12,5 cm, 33 cm et 50 cm. A l'aide de la relation entre  $G$ ,  $f_{\text{objectif}}$  et  $f_{\text{oculaire}}$  trouvée précédemment, trouver un couple de lentilles {objectif-oculaire} qui permettrait une observation nette du cratère de Kepler.

## Partie III : Lunettes commerciales

### Document 4 : Caractéristiques de 2 lunettes

	Modèle 1	Modèle 2
Lunette		
Prix indicatif	60 €	650 €
Diamètre de l'objectif	50 mm	102 mm
$f_{\text{objectif}}$	600 mm	1000 mm
foculaire pour les oculaires fournis	20 mm, 12 mm, 4 mm	25 mm

### Document 5 : Oculaires

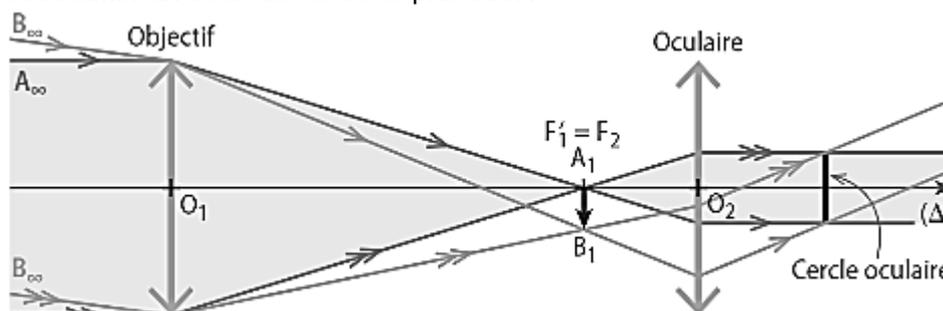
Les lunettes sont munies de porte-oculaires permettant d'adapter plusieurs oculaires pouvant être achetés à part.



Images d'oculaires de distances focales (du bas à droite vers le haut à gauche) 6,0 mm, 9,0 mm, 12,5 mm, 18 mm, 25 mm et 32 mm.

### Document 6 : Cercle oculaire

Pour observer à travers une lunette, l'œil doit être placé sur le cercle oculaire, qui est l'image de l'objectif par l'oculaire. A cet endroit, le faisceau lumineux de la lunette est le plus étroit.



**8.** Pour les deux lunettes du document 4, déterminer les valeurs des grossissements possibles avec les oculaires fournis.

**9.** Les oculaires du document 5 sont tous adaptables sur la monture du modèle 2 de lunette, mais ont des tailles (hauteurs sur l'image du document 5) différentes. Expliquer pourquoi en utilisant le caractère afocal de la lunette astronomique.

**10.** Montrer que le diamètre  $D_{\text{oculaire}}$  du cercle oculaire est égal au diamètre  $D_{\text{objectif}}$  de l'objectif divisé par le grossissement de la lunette.

Note : Se placer dans l'approximation des petits angles :  $\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) \approx \alpha$ , avec  $\alpha$  exprimé en radian

**11.** Pour une même distance focale, vaut-il mieux un diamètre élevé ou faible de l'objectif ? Justifier en considérant les limites du grossissement sur l'observation d'un objet faiblement lumineux.

**12.** Justifier le prix du modèle 2 par rapport au modèle 1.

### ❖ Lunette astronomique

Une lunette astronomique est constituée de deux lentilles minces convergentes, une première qui reçoit les rayons issus de l'objet (.....) et une seconde derrière laquelle on observe l'image (.....). Les lentilles sont placées de telle sorte à ce que .....

.....  
afin d'obtenir une image « à l'infini » (rayons émergents parallèles) d'un objet « à l'infini » (rayons incidents parallèles).

### ❖ Taille apparente et grossissement

La taille apparente, souvent associées à des mesures d'astres en astronomie, est l'angle sous lequel est vu un objet à l'œil nu ou à travers un instrument d'optique.

Le grossissement caractérise l'augmentation de la taille apparente d'un objet observé par l'instrument. Sa valeur du grossissement (sans unité) correspond alors au rapport de la taille apparente  $\alpha'$  de l'objet observé avec la lunette sur la taille apparente  $\alpha$  de l'image observée sans la lunette. Cette valeur est équivalente au rapport des distances focales de l'objectif et de l'oculaire.



### Savoir faire

### ❖ Tracer les rayons à travers un ensemble de lentille, en suivant les règles de construction de l'optique géométrique

Pour une lentille convergente, les règles de construction des rayons sont les suivantes :

- Les rayons incidents passant par le centre optique ne sont pas déviés.
- Tous rayons incidents parallèles entre eux croisent le plan focal image en un même point, et vice-versa. En particulier, les rayons incidents parallèles à l'axe optique émergent en passant par le foyer image  $F'$ .
- Tous rayons émergents parallèles entre eux croisent le plan focal objet en un même point, et vice-versa. En particulier, les rayons incidents passant par le foyer objet  $F$  émergent parallèles à l'axe optique

*Note : Sur les schémas, on utilise des pointillés pour les rayons « de construction » permettant de trouver l'image d'un objet lorsqu'elle est virtuelle, ou l'image à travers plusieurs lentilles.*