

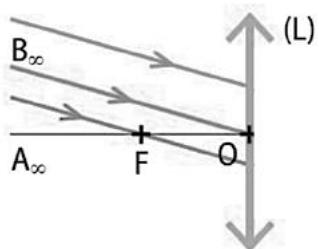
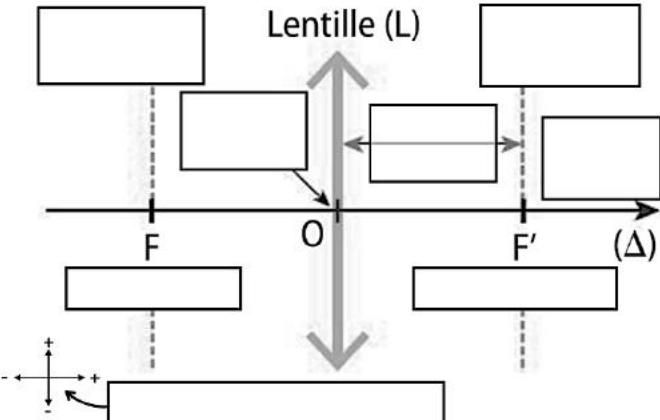
Lunette astronomique

«Douter de tout ou tout croire sont deux solutions également commodes, qui, l'une et l'autre, nous dispensent de réfléchir» - Poincaré

1 Rappels

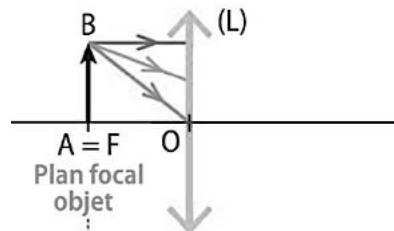
 Application 1 : Rappels sur les rayons lumineux et l'œil (accommodation)

- 1- Compléter le schéma ci-contre
- 2- Comment arrivent les rayons d'un objet « à l'infini » sur une lentille ?
- 3- En utilisant la relation de conjugaison, retrouver où se forme l'image d'un objet à l'infini.
- 4- Prolonger les rayons issus du point B_∞ d'un objet à l'infini en sortie de la lentille mince convergente ci-dessous :



- 5- Avec la relation de conjugaison, déterminer où se forme l'image d'un objet placé dans le plan focal objet d'une lentille mince convergente.

- 6- Construire l'image d'un objet AB placé dans le plan focal objet d'une lentille mince convergente L :



- 7- Donner la relation de grandissement.

- 8- Qu'appelle-t-on « accommodation » de l'œil ? Dans quel cas l'œil n'accorde-t-il pas ?

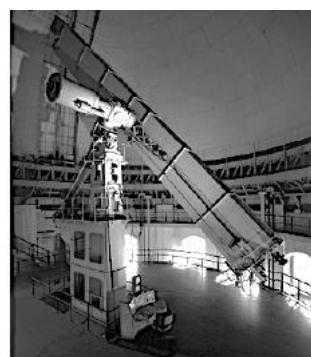
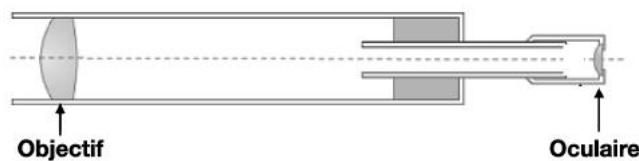
2 Modèle de lunette astronomique

A. Constitution d'une lunette astronomique

La lunette astronomique est un instrument d'optique destiné à l'observation des astres ou d'objets très éloignés.

Elle est constituée de deux lentilles minces convergentes :

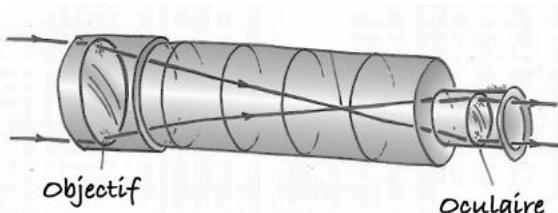
- l'« **objectif** » orientée vers l'objet à observer ;
- l'« **oculaire** » devant laquelle on place l'œil.



B. Un système afocal

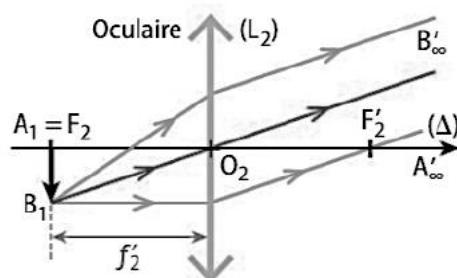
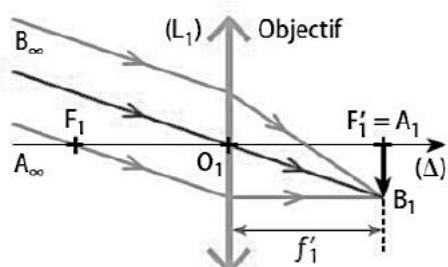
Quand l'œil regarde un objet à l'infini, les rayons lumineux arrivent parallèles : il n'a pas besoin de modifier la courbure de son cristallin (pas d'accommodation).

Une lunette astronomique qui transforme des rayons parallèles en rayons parallèles (image finale à l'infini), observable sans accommodation, est dite **afocale**.



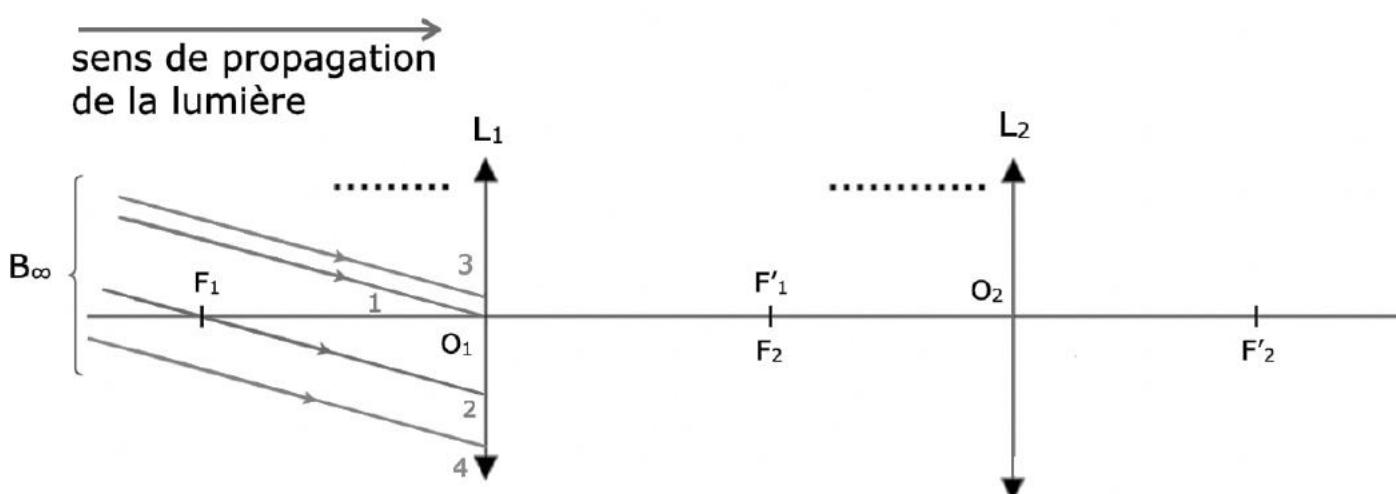
L'objectif collecte la lumière de l'objet à l'infini $A_{\infty}B_{\infty}$ situé à l'infini et forme une image intermédiaire A_1B_1 (réelle et renversée) :

L'oculaire, du côté de l'œil, a pour rôle de former à partir de A_1B_1 , une image finale à l'infini $A'B'$ (observation à l'œil au repos)

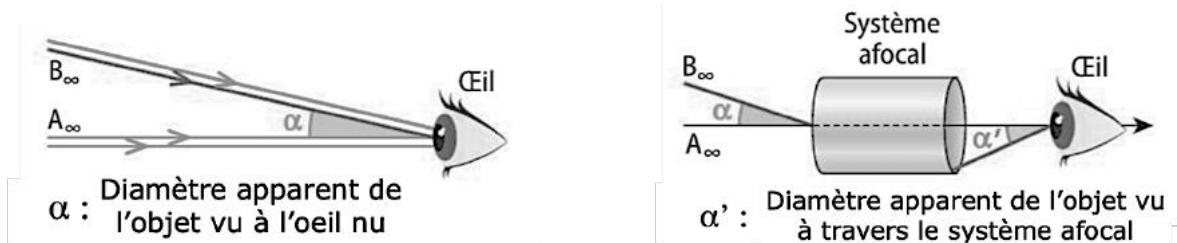


* Application 2 : Cheminement des rayons dans une lunette astronomique afocal

- 1- Pour qu'une lunette soit afocale, quelle distance doit séparer l'objectif de l'oculaire ?
- 2- Compléter le schéma ci-dessous en prolongeant les rayons provenant du point B_{∞} de l'objet lumineux à l'infini sur l'objectif et indiquer quelle lentille joue le rôle de l'objectif et laquelle celle de l'oculaire (L_1/L_2).



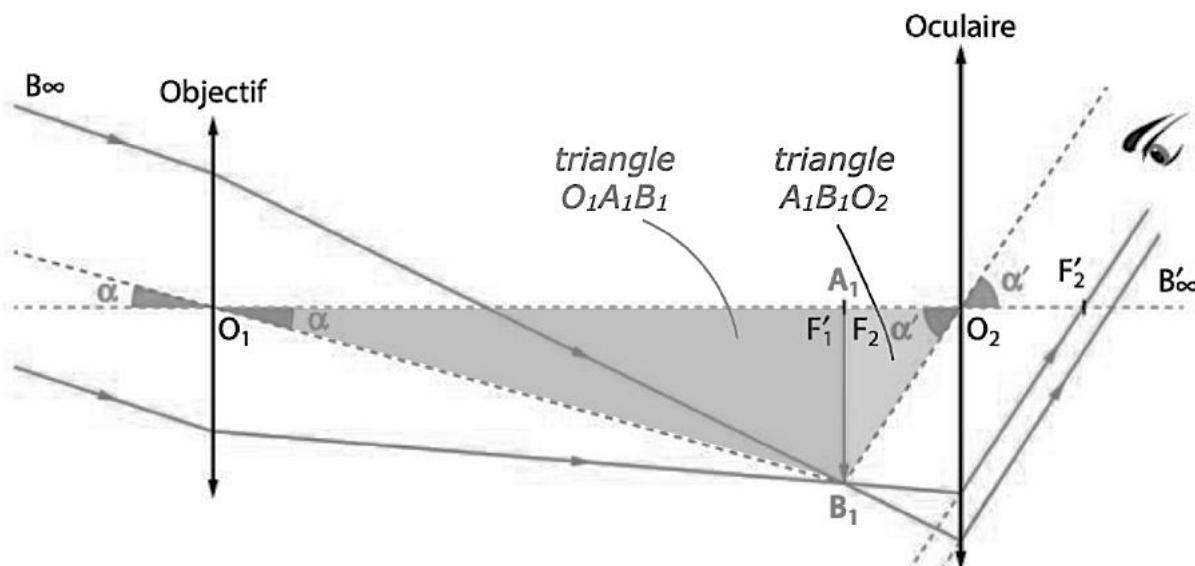
3 Grossissement



■ **Définition :** le **diamètre apparent** α est un angle sous lequel on observe un objet à l'infini $A_\infty B_\infty$.

Le grossissement G , grandeur sans dimension, est le rapport entre le diamètre apparent α' de l'objet observé à travers le système optique, et le diamètre apparent α de cet objet observé à l'œil nu :

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



Application 3 : Étude du grossissement

Le grossissement peut être déterminé à partir des distances focales de l'objectif, en utilisant le schéma ci-dessus et les angles α et α' et les triangles $O_1A_1B_1$ et $A_1B_1O_2$.

- 1- Exprimer α en fonction de la distance focale de l'objectif f'_1 et de la taille de l'image intermédiaire A_1B_1 , en supposant que $\tan \alpha \approx \alpha$ (hypothèse des petits angles, $\alpha < 5^\circ$ soit environ 0,1 rad).
- 2- Exprimer α' de la même façon, en fonction de la distance focale de l'oculaire f'_2 et de A_1B_1 , en prenant aussi $\tan \alpha' \approx \alpha'$.
- 3- En déduire le grossissement en fonction de f'_1 et f'_2 .

Application 4 : extrait bac Polynésie 2021

La « Grande Lunette » de l'observatoire Meudon est constituée de deux lentilles minces convergentes :

- une lentille L_1 de distance focale $f'_1 = 16$ m,
- une lentille L_2 de distance focale $f'_2 = 4$ cm.

Depuis le sol terrestre, un cratère de la Lune, nommé Albategnius, est observé sous un angle $\theta = 1'$ (1 minute d'arc).

■ **Rappel :** 1 degré = 60 minutes d'arc (noté : 60').

Calculer, en degrés, la valeur de l'angle θ' sous lequel l'image du cratère Albategnius est observé à travers la « Grande Lunette » de Meudon.

4 Caractéristiques d'une lunette commerciale

Les lunettes astronomiques sont caractérisées par la distance focale de leur objectif f'_1 . L'oculaire est interchangeable pour modifier le grossissement.

En pratique, on commence l'observation par un oculaire de grande distance focale f'_2 : grossissement faible \Rightarrow grand champ de vision (repérage facile). Ensuite, on passe à un oculaire plus courte pour augmenter le grossissement et voir plus de détails.

Rôle de l'objectif : son **diamètre** est essentiel : **plus il est grand, plus il capte de lumière** \Rightarrow image plus lumineuse et meilleure résolution (détails fins). Inconvénient : coût plus élevé (grandes lentilles de qualités difficiles à fabriquer).

Plan de travail

QCM : hatier-clic.fr/pct496b

Exigences et capacités exigibles du Chapitre 3 : Lunette astronomique	Exercices + TP	Exercices Hatier ¹
Modèle optique d'une lunette astronomique avec objectif et oculaire convergents.	Application 1 Application 2 TP Exercice 2	QCM p.496 9, 10 et 11 15 et 16 p.498 26 p.500 29 p.502 30 p.503 31 p.504
Grossissement	TP Application 3 Exercice 1 Exercice 2	QCM p.496 12 et 13 29 p.502 30 p.503 31 p.504

Exercice 1 : une lunette d'amateur pour voir des étoiles double Extrait Centre étranger Asie 2022

Un astronome amateur vient d'acquérir une lunette astronomique avec l'intention d'observer la calotte polaire Nord de la planète Mars. Cette lunette est dotée d'un objectif de distance focale $f'_1 = 910$ mm et d'un oculaire de distance focale $f'_2 = 20$ mm. On cherche à déterminer la distance maximale Terre-Mars pour pouvoir observer cette calotte polaire à travers la lunette.

Données :

- Pouvoir séparateur de l'œil humain : pour pouvoir distinguer deux points A et B , l'angle θ sous lequel un œil humain les observe doit être supérieur à l'angle $\theta_0 = 2,7 \times 10^{-4}$ rad.
- Pour un angle θ petit, $\tan \theta \approx \theta$, où l'angle θ est exprimé en radians.
- L'unité astronomique (UA) est une unité de distance qui correspond à la distance moyenne Soleil-Terre.
 $1\text{ UA} = 150$ millions de km soit $1,50 \times 10^{11}$ m.
- Distance moyenne Soleil-Mars : 1,5 UA.

On note α_{\min} la valeur minimale que doit avoir l'angle α pour que l'objet soit observable par un œil humain à l'aide de cette lunette.

¹ Les exercices ne seront pas tous corrigés en classe, mais des corrections seront mises sur Google Classroom.

1. Déterminer l'expression de α_{\min} en fonction f'_1 , f'_2 et θ_0 .
 2. Vérifier que, pour la lunette de l'astronome amateur, $\alpha_{\min} = 5,9 \times 10^{-6}$ rad.
 3. Sachant que la taille de la calotte polaire Nord de Mars a un diamètre d d'environ 10^3 km, donner une estimation, en km, de la distance maximale D_{\max} entre Mars et la Terre permettant d'observer cette calotte polaire.
- La distance Terre-Mars n'est pas constante. Elle varie au cours du temps entre 0,5 et 2,5 unités astronomiques (UA).
4. Compte tenu de la valeur de D_{\max} trouvée à la question 3, préciser si l'astronome amateur pourra finalement observer la calotte polaire Nord de Mars avec sa lunette.

Exercice 2 : Détermination du diamètre de Jupiter Extrait Centre étranger J2 Asie 2022

Dans cet exercice, on se propose d'examiner comment il a été possible historiquement de déterminer le diamètre de la planète Jupiter grâce à des observations réalisées avec des lunettes astronomiques.

La distance entre la Terre et Jupiter étant connue, il est possible de déterminer le diamètre D de Jupiter si on connaît son diamètre apparent α vu à l'œil nu depuis la Terre (Figure 1 ci-dessous).

Le diamètre apparent « d'un objet de diamètre $AB = D$ » est défini comme étant l'angle sous lequel il est observé.

Le diamètre apparent de Jupiter α , a été déterminé par le physicien néerlandais Huygens.

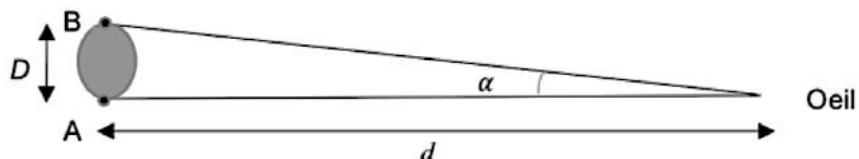


Figure 1.

- Notations : on note α l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu et α' l'angle sous lequel on voit ce même objet à travers la lunette.
- Dans l'ensemble de cet exercice, tous les angles sont petits. Pour de tels angles, il est possible d'écrire $\tan \alpha = \alpha$ si α est en radians.

DOCUMENT : observations de Jupiter par Huygens en juin 1684.

Dans un premier temps, Huygens raconte qu'avec le grossissement utilisé, il voyait Jupiter à travers la lunette deux fois plus gros qu'il ne voyait la Lune à l'œil nu. Il estimait le grossissement de sa lunette à 164. Le diamètre apparent de la Lune à l'œil nu étant connu, il put estimer que celui de Jupiter était approximativement $\alpha_J = 10^{-4}$ radians.



Christian Huygens
(1629-1695)

Une semaine après, il imagina un dispositif permettant de déterminer plus précisément la valeur du diamètre apparent de Jupiter qu'il avait seulement estimée. Pour cela, Huygens eut l'idée d'insérer dans sa lunette, au niveau de l'image intermédiaire de Jupiter créée par l'objectif, un petit repère lui permettant alors de mesurer la taille de l'image intermédiaire. Il mesura ainsi l'image intermédiaire de Jupiter et trouva 2 millimètres. À partir de cette valeur, il put calculer le diamètre apparent de Jupiter et trouva 2.10^{-4} radians.

Estimation du diamètre apparent de Jupiter α_J par comparaison avec la Lune

1. Rappeler la définition du grossissement G de la lunette en fonction de α et α' .
2. En reprenant le premier paragraphe du DOCUMENT, montrer que $\alpha_J = \frac{2\alpha_L}{G}$

Huygens connaissait la valeur du diamètre apparent de la Lune à l'œil nu : $\alpha_L = 0,5^\circ = 8,7 \times 10^{-3}$ rad

3. Montrer que l'on retrouve la valeur du diamètre apparent de Jupiter trouvée dans un premier temps par Huygens.

Modélisation de la lunette astronomique de Huygens

Afin de pouvoir exploiter la démarche présentée dans le deuxième paragraphe du DOCUMENT, et pour retrouver la valeur du grossissement de la lunette estimée par Huygens, on modélise la lunette

astronomique par l'association d'une lentille convergente L_1 de grande distance focale f'_1 , appelée objectif et d'une lentille convergente L_2 de petite distance focale f'_2 , appelée oculaire.

Les deux lentilles sont placées de telle sorte que le foyer image F'_1 de L_1 coïncide avec le foyer objet F_2 de L_2 . (Voir annexe à rendre avec la copie). L'ensemble des deux lentilles constitue un système afocal. Pour un tel système, l'image d'un objet situé à l'infini est située à l'infini.

On considère un objet AB situé « à l'infini », celui-ci représentant la planète Jupiter (Voir annexe)

4. Construire l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB, situé « à l'infini », à travers la lentille L_1 .

Le point A est situé sur l'axe optique. Les rayons qui arrivent de A sont parallèles à l'axe optique.

Le point B est situé hors axe optique. Les rayons issus de B sont parallèles entre eux (objet à l'infini) et atteignent la lentille avec une inclinaison α_J , par rapport à l'axe optique.

5. Représenter le faisceau émergent issu de B, situé « à l'infini », délimité par les deux rayons incidents déjà tracés, et traversant l'ensemble de la lunette afocale.

Le faisceau émergent (en sortie de l'oculaire) est incliné d'un angle α' par rapport à l'axe optique.

6. Par des considérations géométriques, déterminer l'expression du grossissement G en fonction des distances focales f'_1 et f'_2 .

Les caractéristiques de la lunette de Huygens sont :

Distance focale de l'objectif $f'_1 = 10,35 \text{ m}$.

Distance focale de l'oculaire $f'_2 = 63 \text{ mm}$.

7. Expliquer le calcul effectué par Huygens, dans le deuxième paragraphe du DOCUMENT, pour obtenir la valeur de l'angle α_J à partir de la taille de l'image intermédiaire.
8. Calculer le grossissement de la lunette de Huygens et expliquer pour quelle raison la première détermination de α_J présentée dans le premier paragraphe du DOCUMENT était nécessairement moins précise que celle présentée dans le second paragraphe.

La distance Terre-Jupiter était connue à l'époque de Huygens. Cette distance a pour valeur moyenne $d = 7,80 \times 10^8 \text{ km}$.

9. Calculer la valeur D du diamètre de Jupiter.

Annexe :

