

Comment observer un objet lointain ?

✔ Objectifs

- Modèle optique d'une lunette astronomique avec objectif et oculaire convergents. Grossissement.
- Représenter le schéma d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes ; identifier l'objectif et l'oculaire.
- Représenter le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale.
- Réaliser une maquette de lunette astronomique ou utiliser une lunette commerciale pour en déterminer le grossissement.
- Vérifier la position de l'image intermédiaire en la visualisant sur un écran.

👤 Classe

Terminale Spé

🕒 Durée

2 h

🔧 Sur la paillasse

- Deux bancs optiques gradués en millimètre,
- Une source de lumière et son alimentation (générateur réglé sur 12 V),
- Un objet (lettre F) obstruée par du papier calque,
- Un écran avec feuille de papier millimétré,
- Trois lentilles de vergences 10δ , 5δ et 20δ .

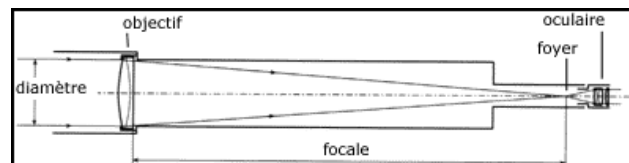
Ce TP a pour objectif d'étudier un système optique composé de deux lentilles, à avoir la lunette astronomique. Nous mettrons ici en œuvre la construction d'une telle lunette, afin d'agrandir la taille d'un objet à l'infini.

📄 Document 1: Rappels des relations d'intérêt

- Définition de la vergence : $V = \frac{1}{f'}$
- Relation de conjugaison : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$

📄 Document 2: La lunette astronomique

Dans une lunette astronomique, on regarde à la loupe (**oculaire**) l'image formée par une lentille convergente (**objectif**) d'un objet très éloigné.



Une lunette astronomique se présente comme un tube possédant deux systèmes optiques constitués par des ensembles de lentilles :

- L'objectif : système convergent de grande distance focale (pouvant atteindre 20 m dans les lunettes d'observatoire).
- L'oculaire joue le rôle de loupe. C'est une lentille de petite focale (distance focale de l'ordre du centimètre).

Nous limiterons notre étude au cas de la lunette afocale. Dans ce cas, le foyer principal image de l'objectif et le foyer principal objet de l'oculaire sont confondus. Dans une lunette astronomique, l'œil observe sans fatigue.

📄 Document 3: Modélisation d'un objet à l'infini

Pour modéliser un objet à l'infini, il y a deux possibilités :

- Viser un objet lointain par la fenêtre (méthode limitée dans notre cas par la situation de la salle).
- Placer l'objet dans le plan focal objet d'une lentille convergente pour obtenir une image à l'infini qui joue le rôle d'objet pour la lunette astronomique.

Document 4: Montage expérimental

- Une lunette est dite afocale lorsque celle-ci donne d'un objet situé à l'infini une image également située à l'infini. Le foyer principal image de l'objectif doit coïncider avec le foyer principal objet de l'oculaire.
- Une lentille auxiliaire L_0 de vergence $C_0 = 10\delta$ sera placée de façon à faire une image rejetée à l'infini. C'est cette image (servant alors d'objet) qui sera observée par la lunette.
- Une lentille \mathcal{L}_1 de vergence $C_1 = 5,0\delta$.
- Une lentille \mathcal{L}_2 de vergence $C_2 = 20\delta$.
- Tracés - échelle horizontale : 1 cm pour 2 cm réels (échelle au 1/2) ; échelle verticale : 1 cm pour 1 cm.

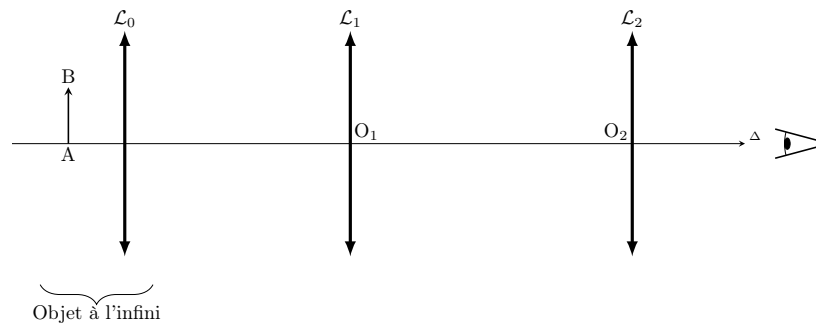


FIGURE 1 – Montage expérimental de la lunette astronomique.

1 Découverte de la lunette astronomique

1. Calculer les distances focales associées à L_0 , L_1 et L_2 .

Solution: Si $C = \frac{1}{f'}$ alors $f' = \frac{1}{C}$. On a donc $f_0 = \frac{1}{C_0} = \frac{1}{10\delta} = 0,10\text{ m} = 10\text{ cm}$.

De même, $f_1' = \frac{1}{C_1} = \frac{1}{5,0\delta} = 0,20\text{ m} = 20\text{ cm}$.

Et $f_2' = \frac{1}{C_2} = \frac{1}{20\delta} = 0,050\text{ m} = 5,0\text{ cm}$

2. À quelle distance de l'observateur se situent les objets AB que l'on regarde dans une lunette astronomique ?

Solution: Les objets AB qui sont observés se situent à l'infini (comme par exemple une étoile).



- Créer l'objet à l'infini grâce au matériel mis à disposition. Pour vérifier que l'objet est bien à l'infini, obtenir une image **nette** sur un mur lointain.
- Placer les lentilles convergentes L_1 et L_2 comme sur le schéma. Régler la distance entre les deux lentilles pour observer une image nette à l'œil nu en regardant à travers le dispositif. On pourra diminuer la tension appliquée à la lampe pour diminuer l'intensité lumineuse.
- Inverser la position de L_1 et L_2 . Observer à nouveau l'image obtenue à l'œil nu.

3. Quelle lentille doit être utilisée comme objectif ? Quelle lentille doit être utilisée comme oculaire ?

Solution: La lentille de plus grande distance focale doit être utilisée comme objectif, et celle de plus petite distance focale comme oculaire afin que l'image soit agrandie.

4. Où se situe l'image $A'B'$ donnée par la lunette ?

Solution: L'image $A'B'$ donnée par la lunette doit se situer à l'infini afin que l'œil n'ait pas à accommoder.



- Placer les lentilles dans le bon ordre et mesurer la distance $\overline{O_1O_2}$.
- Déplacer l'ensemble L_1L_2 et observer l'image obtenue à l'œil nu.

5. Noter la distance $\overline{O_1O_2}$. La position de la lunette sur le banc optique a-t-elle une importance ?

Solution: $\overline{O_1O_2} = 25\text{cm}$. La position de la lunette sur le banc optique ne change pas l'observation de l'objet F.

6. Quelle doit être la distance $\overline{O_1O_2}$ entre les 2 lentilles pour que la lunette soit afocale ?

Solution: $\overline{O_1O_2} = f'_1 + f'_2$ afin que la lunette soit afocale (c'est-à-dire que le foyer objet de l'oculaire est confondu avec le foyer image de l'objectif).



- Placer un écran entre l'objectif et l'oculaire pour observer l'image intermédiaire A_1B_1 .

7. Si l'objet est situé à l'infini, dans quel plan particulier de l'objectif, leur image A_1B_1 , se forme-t-elle ? Indiquer si cette image est réelle ou virtuelle ? Droite ou renversée ?

Solution: Si l'objet est à l'infini, alors l'image intermédiaire se forme dans le plan focal image de l'objectif. Cette image est réelle (on l'observe sur un écran) et renversée.

8. Pour éviter la fatigue, il est souhaitable que l'œil de l'observateur n'accomode pas : dans quel plan particulier de l'oculaire faut-il que A_1B_1 , se forme pour qu'il en soit ainsi ?

Solution: Pour qu'il en soit ainsi, l'image intermédiaire doit se situer dans le plan focal objet de l'oculaire : son image sera ainsi envoyée à l'infini.

9. Dans ces conditions, quelles sont les positions relatives du plan focal image de l'objectif et du plan focal objet de l'oculaire ?

Solution: F'_1 et F_2 sont confondus, les plans focaux également.

10. Voir annexe.

11. Observer l'image finale $A'B'$. Quelle est sa nature ?

Solution: On ne peut pas projeter cette image sur un écran : l'image est donc virtuelle.

12. Quel est le rôle de l'objectif ? De l'oculaire ?

Solution: L'objectif a pour rôle de collecter un large faisceau de lumière. L'oculaire lui permet d'agrandir l'image afin que la lunette remplisse son rôle.

2 Grossissement d'une lunette

En classe de première, vous avez défini le grandissement d'une lentille. Cette caractéristique n'est pas toujours la plus appropriée pour décrire un système optique. Ici nous n'avons pas accès aux tailles de l'objet (à l'infini) et de l'image (à l'infini) ni aux positions de ceux-ci.

Document 5: Grossissement d'une lunette

Le grossissement G d'une lunette astronomique 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. Il est défini par :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} \quad (1)$$

avec

- G le grossissement (sans unité) ;
- θ angle sous lequel est vu l'objet à l'œil nu en $^\circ$;
- θ' angle sous lequel est vu l'image à travers la lunette astronomique en $^\circ$.

Document 6: Exemples de lunettes astronomiques

	Focale de l'objectif	Diamètre de l'objectif	Focale de l'oculaire
Lunette de l'observatoire de Meudon	16,16 m	83 cm	4,0 cm
Lunette de l'observatoire Yerkes près de Chicago, la plus grande lunette jamais construite	19 m	102 cm	10 cm
Lunette vendue dans le commerce	800 mm	60 mm	6 mm

13. Sur le schéma, placer l'angle α sous lequel l'œil voit directement AB (vision à l'œil nu). Remarque : Vue depuis la terre, par exemple, la lune a un diamètre apparent moyen de $9,0 \times 10^{-3}$ rad.

14. Sur le schéma de l'annexe, placer l'angle α' sous lequel l'œil voit l'image $A'B'$ de l'objet à travers la lunette.
15. Montrer, en appliquant les relations trigonométriques et en utilisant l'approximation des petits angles (les angles sont petits donc $\tan(\alpha) \approx \alpha$ et $\tan(\alpha') \approx \alpha'$), que le grossissement G de la lunette afocale s'exprime en fonction de la distance focale f_1 de l'objectif et de la distance focale f_2 de l'oculaire selon :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_1'}{f_2'} \quad (2)$$

Solution: D'après le schéma du modèle de la lunette astronomique,

$$\tan(\alpha) = \frac{F_1' A_1}{O_1 F_1'}$$

$$\tan(\alpha') = \frac{F_1' A_1}{F_1' O_2}$$

Reprenons l'expression du grossissement G :

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

Or, dans l'hypothèse des petits angles, $\tan(\alpha) \approx \alpha$ et $\tan(\alpha') \approx \alpha'$

$$G = \frac{\tan(\alpha')}{\tan(\alpha)} = \frac{\frac{F_1' A_1}{F_1' O_2}}{\frac{F_1' A_1}{O_1 F_1'}} = \frac{O_1 F_1'}{F_1' O_2} = \frac{f_1'}{f_2'}$$

16. À partir de cette dernière relation, justifier clairement le fait que dans une lunette astronomique, l'objectif soit très peu convergent alors que l'oculaire est très convergent.

Solution: Pour que la lunette agrandisse fortement l'objet, il faut que $G \gg 1 \Rightarrow \frac{f_1'}{f_2'} \gg 1 \Rightarrow f_1' \gg f_2'$ c'est-à-dire que la lentille 1 (l'objectif) soit très peu convergent par rapport à la lentille 2 (l'oculaire).

17. Calculer le grossissement de la lunette utilisée précédemment.

Solution:

$$G = \frac{f_1'}{f_2'} = \frac{20 \text{ cm}}{5,0 \text{ cm}} = 4$$

18. Calculer le grossissement des lunettes présentées dans le document 6.

Solution: De la même manière, on obtient :

	Focale de l'objectif	Focale de l'oculaire	Grossissement
Lunette de l'observatoire de Meudon	16,16 m	4,0 cm	$G = \frac{f_1'}{f_2'} = \frac{1616\text{cm}}{4,0\text{cm}} \approx 400$
Lunette de l'observatoire Yerkes près de Chicago, la plus grande lunette jamais construite	19 m	10 cm	$G = \frac{f_1'}{f_2'} = \frac{1900\text{cm}}{10\text{cm}} \approx 190$
Lunette vendue dans le commerce	800 mm	6,0 mm	$G = \frac{f_1'}{f_2'} = \frac{800\text{mm}}{6,0\text{cm}} \approx 130$

19. Calculer la longueur des lunettes présentées dans le document 6.

Solution: De la même manière, on obtient :

	Focale de l'objectif	Focale de l'oculaire	Longueur de la lunette
Lunette de l'observatoire de Meudon	16,16 m	4,0 cm	$\ell = f_1' + f_2' = 16,16\text{m} + 0,04\text{m} = 16,20\text{m}$
Lunette de l'observatoire Yerkes près de Chicago, la plus grande lunette jamais construite	19,00 m	10 cm	$\ell = f_1' + f_2' = 19,00\text{m} + 0,10\text{m} = 19,10\text{m}$
Lunette vendue dans le commerce	800 mm	6,0 mm	$\ell = f_1' + f_2' = 800\text{mm} + 6\text{mm} = 806\text{mm}$

Annexe

En tenant compte des réponses aux questions précédentes, des données et des échelles, placer l'oculaire sur le schéma ci-dessous et tracer la marche du rayon incident passant par le centre optique O_1 de l'objectif à travers de la lunette. Construire l'image intermédiaire A_1B_1 . Indiquer la « direction » des points A' et B' sur le schéma.

