

LP 11 – Instruments optiques

Manon LECONTE - ENS de Lyon

Dernière mise à jour : 7 juin 2020

Merci à F  nri   Montorier, Karine Braganti et Joachim Galiana pour leur précieuse aide.

Mots-clé : loupe, grossissement, microscope, pouvoir de résolution, lunette astronomique, télescope.

Niveau : terminale STL SPCL

Pré-requis :

- Lentille convergente (plans focaux objet et image) [1^{re} STL SPCL]
- Images réelles et virtuelles à travers une lentille convergente [1^{re} STL SPCL]
- Tracé de rayon lumineux [1^{re} STL SPCL]
- Relations de conjugaison et de grandissement [1^{re} STL SPCL]
- Diffraction [T^{le} STL SPCL]
- Miroirs (plan ou sphérique) [T^{le} STL SPCL]
- L'oeil (modélisation par une lentille, accommodation) [1^{re} STL SPCL]

Biblio :

- Ressources sur le site de l'académie de Montpellier : cours sur les instruments optiques, Séquence "Des ondes pour voir plus grand", Séquence "Des ondes pour voir plus loin" [Niveau : *]
- Salamito, *Physique tout-en-un PCSI* [Niveau : **]

Plan proposé

I - Voir plus grand	2
A/ Fonctionnement d'une loupe	2
B/ Fonctionnement d'un microscope	4
C/ Résolution d'un microscope	5
II - Voir plus loin	5
A/ Lunette astronomique	5
B/ Télescope	6

Liste de matériel

Modélisation d'une loupe

- banc optique ;
- objet ;
- lentille convergente de focale égale à 10 cm.

Modélisation d'un microscope

- banc optique ;
- objet ;
- lentille convergente de focale égale à 20 cm ;
- lentille convergente de focale égale à 5 cm.

Modélisation d'une lunette astronomique

- banc optique ;
- objet ;
- lentille convergente de focale égale à 60 cm ;
- lentille convergente de focale égale à 5 cm.

Introduction pédagogique

Ce cours conclut la séquence "Des ondes pour observer" du programme de terminale STL SPCL.

On insistera sur la manière dont un instrument optique permet d'agrandir une image ou de voir plus loin, mais également sur les limites de chaque instrument.

Ce cours est profondément lié à la pratique expérimental et le plus bénéfique pour les élèves serait de découvrir les instruments optiques par un montage optique avant de tracer les rayons.

Difficultés :

- comprendre comment un instrument optique peut être simplement décrit par des lentilles et une source, sans oublier les limites associées ;
- lorsque plusieurs lentilles sont impliquées, le tracé des rayons se fera pas à pas, sans parachuter le résultat (et sera refait en TD) ;
- on n'observe non pas des tailles d'objets mais des angles.

Exemples de TD : étude de documents sur le télescope Hubble.

Exemples de TP : modélisation d'instruments optiques par des lentilles.

Introduction

On utilise tous les jours des instruments optiques, parfois sans même s'en rendre compte : nos yeux. En 1^{re}, les élèves ont vu comment le modéliser par la succession d'un diaphragme, d'une lentille et d'un écran.

Mais, cet instrument a des limites : on ne peut pas voir ce qui est très loin ou ce qui est très petit. On peut alors utiliser d'autres successions de lentilles pour passer au-delà des limites de l'œil.

Objectifs – Comprendre le fonctionnement des instruments optiques et leurs limites.

I - Voir plus grand

A/ Fonctionnement d'une loupe

Une loupe permet d'observer de petits objets en créant une image virtuelle au niveau de l'œil de l'observateur.

On peut tracer les rayons traversant la loupe :

On peut utiliser la relation de conjugaison pour déterminer la position de l'image :

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} \quad (1)$$

$$\Leftrightarrow \overline{OA'} = \frac{f' \times \overline{OA}}{f' + \overline{OA}} \quad (2)$$

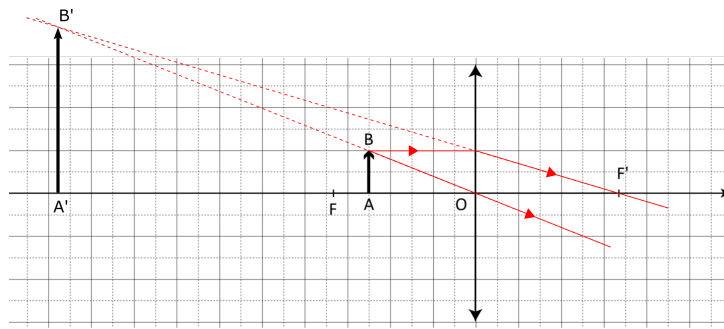


Figure 1 – Tracé des rayons lumineux à travers une loupe (Source du fond : Académie de Montpellier).

Application numérique – Si $f' = 10$ cm et $\overline{OA} = -7,5$ cm, on trouve l'image à $\overline{OA'} = -30$ cm.

La position la plus confortable pour observer un objet à l'aide d'une loupe est lorsqu'on le place dans le plan focal objet. L'image virtuelle se trouve alors à l'infini (les rayons sortent parallèle de la lentille), ce qui permet de l'observer sans accommodation.

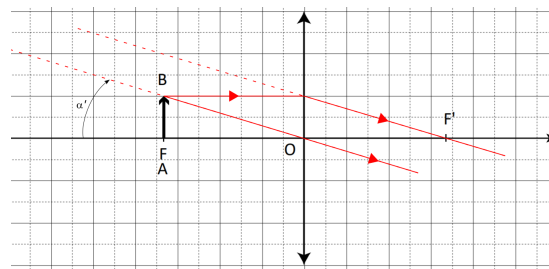


Figure 2 – Tracé des rayons lumineux à travers une loupe lorsque l'objet est situé dans le plan focal objet (Source du fond : Académie de Montpellier).

Définition – Grossissement commercial : $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$, où α' est l'angle sous lequel on voit l'objet à l'infini à travers la loupe et α celui sous lequel on voit l'objet à l'œil nu à une distance $d_m = 25$ cm de la pupille (*punctum proximum*).

On utilise les relations de trigonométrie pour calculer le grossissement de la loupe :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} \simeq \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} = \frac{\frac{AB}{f'}}{\frac{AM}{d_m}} = \frac{d_m}{f'} \quad (3)$$

Application numérique – $G = 2,5$.

C'est bien pour lire un texte, mais c'est trop petit pour observer des cellules végétales, par exemple. On utilise alors un microscope.

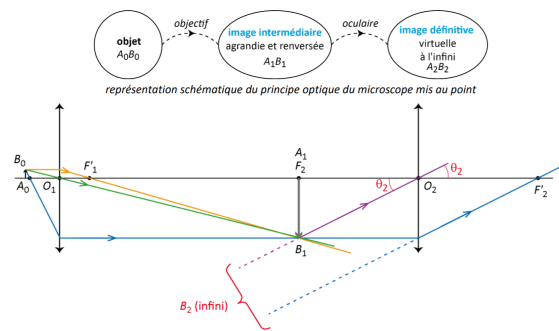


Figure 3 – Modélisation d'un microscope (Source : Académie de Montpellier).

B/ Fonctionnement d'un microscope

L'observateur peut voir des objets très petits en plaçant son œil à droite du dispositif, au niveau de l'**oculaire**. La lentille de gauche est appelée **objectif**.

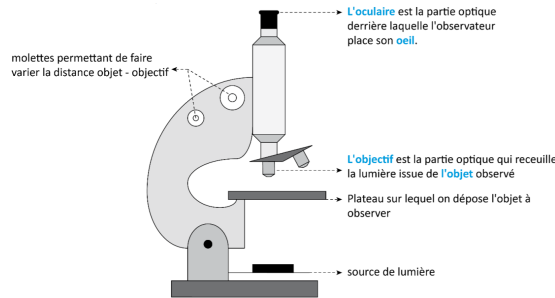


Figure 4 – Fonctionnement d'un microscope (Source : Académie de Montpellier).

Définition – Grossissement d'un microscope :

$$G = \gamma_{obj} G_{ocu} \tag{4}$$

avec γ_{obj} le grandissement de l'objectif et G_{ocu} le grossissement de l'oculaire. On peut lire les valeurs de ces deux grandeurs sur l'oculaire et les objectifs du microscope.

On a donc :

$$G = \frac{\overline{F'_1 F_2}}{f'_1} \times \frac{d_m}{f'_2} \tag{5}$$

Application numérique – Si $\overline{F'_1 F_2} = 40$ cm, $f'_1 = 5,0$ cm, $f'_2 = 20,0$ cm, on trouve un grossissement $G = 150$.

On peut donc considérablement améliorer le grossissement d'un dispositif optique en ajoutant une lentille convergente (objectif) à une loupe.

C/ Résolution d'un microscope

Définition – Pouvoir de résolution : angle minimal entre deux points objets pouvant être nettement distingués. Plus cet angle est faible, meilleure est la résolution de l'instrument optique.

Une des origines de la limite à la résolution d'un instrument optique est la diffraction. On utilise donc comme expression du pouvoir de résolution théorique :

$$\theta_{th} \simeq 1,22 \frac{\lambda}{D} \quad (6)$$

où λ est la longueur d'onde de la lumière incidente et D le diamètre de l'objectif.

Application numérique – Pour un microscope, on peut considérer un objectif de diamètre $D = 5,0$ mm et un rayonnement dans le visible $\lambda = 500$ nm. Donc $\theta_{th} = 1,2 \times 10^{-4}$ rad.

Ainsi, si l'échantillon est placé à 1 cm, on peut distinguer deux points distants de $1,2 \times 10^{-6}$ m = 1,2 μ m.

Cependant, on ne pourra pas distinguer des points de taille plus petite que la longueur d'onde λ du rayonnement incident. Pour observer des structures nanométriques, il faut utiliser un **microscope à force atomique**, qui n'est pas un instrument optique.

II - Voir plus loin

A/ Lunette astronomique

On peut également utiliser des lentilles pour voir plus loin. Ainsi si l'on place le foyer focal objet d'une lentille convergente au foyer focal image d'une autre lentille convergente, on obtient une **lunette astronomique** :

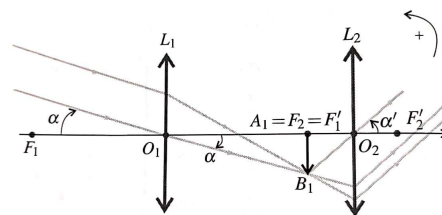


Figure 5 – Schéma d'une lunette astronomique (Source : Salamito (p. 194)).

L'objet et l'image sont placés à l'infini. On parle donc de système **afocal**. L'oculaire correspond à la lentille de plus petite focale (à droite) et l'objectif celle de plus grande focale (à gauche).

On peut de nouveau exprimer le grossissement de la lunette :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = -\frac{f_1'}{f_2'} \quad (7)$$

Application numérique – Si $f'_1 = 60$ cm et $f'_2 = 5$ cm, le grossissement de la lunette vaut $G = -12$.

Le grossissement d'une lunette astronomique est toujours négatif car l'image formée est renversée.

Une limite de ces lunettes astronomiques est qu'il faut utiliser un très gros objectif, ce qui impose une grande taille du corps de la lunette.

Les lunettes astronomiques sont aujourd'hui désuètes car elles ne permettent pas d'observer des objets très lointains. On leur préfère les télescopes.

B/ Télescope

Pour voir encore plus loin, on utilise des miroirs :

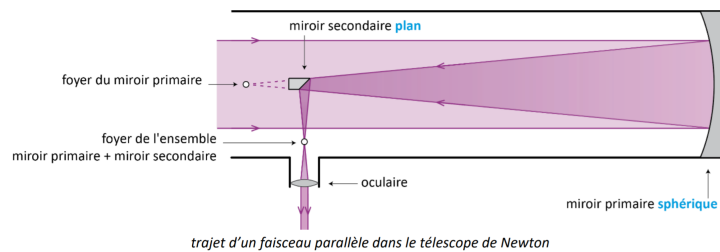


Figure 6 – Schéma d'un télescope (**Source** : Académie de Montpellier).

L'objectif est un miroir sphérique convergent, l'oculaire est une lentille convergente. On peut tracer les rayons dans le télescope :

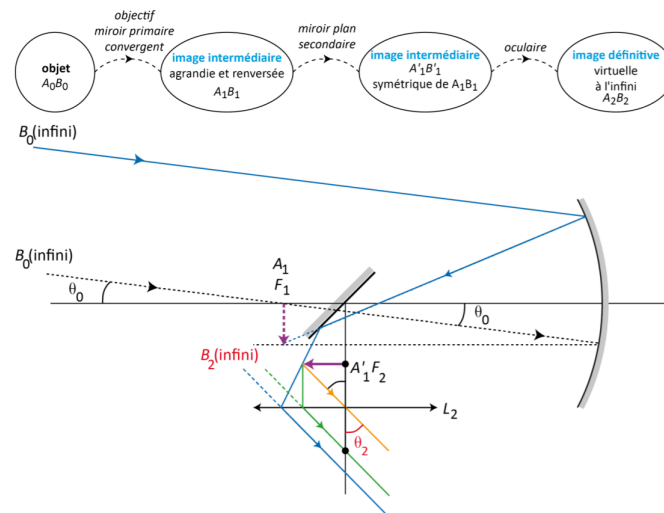


Figure 7 – Tracé des rayons lumineux dans un télescope (**Source** : Académie de Montpellier).

L'expression du grossissement est cette fois :

$$G = \frac{f'_1}{f'_2} \tag{8}$$

Application numérique – Si on considère un télescope pour lequel $f'_1 = 900$ mm et $f'_2 = 15$ mm, le grossissement vaut $G = 60$.

Le grossissement est bien plus grand, en valeurs absolues, que celui d'une lunette astronomique. Il est d'autant plus grand que f'_1 est grande, donc que le diamètre du miroir sphérique est grand. C'est pourquoi les astronomes cherchent à toujours agrandir les miroirs des télescopes. Le plus gros télescope terrestre, en cours de construction et qui sera inauguré en 2025, est l'*Extremely Large Telescope* et possèdera un miroir de diamètre de 39 mètres.

En pratique, il est plus facile de changer la lentille de l'oculaire, c'est pourquoi on diminue seulement la distance focale de cette dernière.

Les télescopes et les lunettes astronomiques sont également limités par la diffusion. Le pouvoir de résolution théorique a la même expression que celui pour un microscope (équation 6).

Conclusion

On peut modéliser de nombreux instruments optiques avec des lentilles et des miroirs (loupe, microscope, lunette astronomique, télescope, ...).

Ces objets ont permis aux scientifiques de faire des avancées majeures en contournant les limites de l'œil humain.