

MP07 – INSTRUMENTS D’OPTIQUE

22 octobre 2015

Samuel Boury & Nicolas Auvray

Le Michelson se règle nu. Rappelons que le jury recrute des candidats éthiques et responsables.

PIERRE L. & MICHEL F.

Niveau : CP

Commentaires du jury

2015 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d’obtention d’images de bonne qualité. L’étude des limitations et des défauts des instruments présentés est attendue. Les candidats doivent comprendre quelles sont les conditions pour que la mesure du grossissement puisse se ramener à la mesure d’un grandissement lorsqu’ils présentent des dispositifs afocaux. Enfin, dans certain cas, les candidats peuvent envisager l’utilisation de lunette de visée afin d’améliorer leurs mesures.

2013, 2014 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d’obtention d’images de bonne qualité. L’étude des limitations et des défauts des instruments présentés est attendue.

2009, 2010, 2011 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d’obtention d’images de bonne qualité.

De toute évidence, le jury semble attaché à la formation d’images de qualité.

Bibliographie

↗ *Instruments d’optique*, **Dettwiller**

→ Bon pour la culture générale, qualitatif, n’est pas suffisant pour faire un montage.

↗ *Expériences d’optique à l’agreg*, **Duffait**

→ Pour la lunette.

↗ *Expériences de physique au CAPES*, **Duffait**

→ Pour le microscope.

Prérequis

➤ Optique géométrique

➤ Diffraction

Expériences

☞ Lunette de Kepler

☞ Microscope

Table des matières

1	Lunette de Kepler	2
1.1	Présentation de l’instrument	2
1.2	Grossissement	3
1.3	Diaphragmes de champ et d’ouverture – verre de champ	3
1.4	Pouvoir de séparation	4
2	Microscope	4
2.1	Passage de la lunette au microscope	4
2.2	Diaphragmes de champ et d’ouverture	4
2.3	Mesure de grandeurs caractéristiques	5

Introduction

Un instrument d'optique, qu'est-ce que c'est ? Un instrument d'optique que l'on utilise dans la vie de tous les jours c'est l'œil, qui va créer sur la rétine l'image de l'objet que l'on souhaite observer. De façon analogue, de nombreux instruments d'optiques ont pour but de créer l'image d'un objet. L'œil a un certain nombre de limitations, par exemple il ne permet pas d'observer des objets très lointains, ni des objets trop petits. Certains instruments d'optiques permettent justement de remédier à cela.

Au cours de ce montage nous allons donc aborder deux instruments optiques : la lunette et le microscope. Nous détaillerons le principe de ces instruments qui présentent quelques similitudes et mettrons en avant un certain nombre de leurs caractéristiques.

1 Lunette de Kepler

1.1 Présentation de l'instrument

La lunette de Kepler constitue un instrument d'optique simple pour l'observation d'objets lointains considérés comme étant à l'infini. Il s'agit d'un système afocal faisant l'image à l'infini d'un objet à l'infini. Pour le réaliser, on utilise deux lentilles de focales différentes.

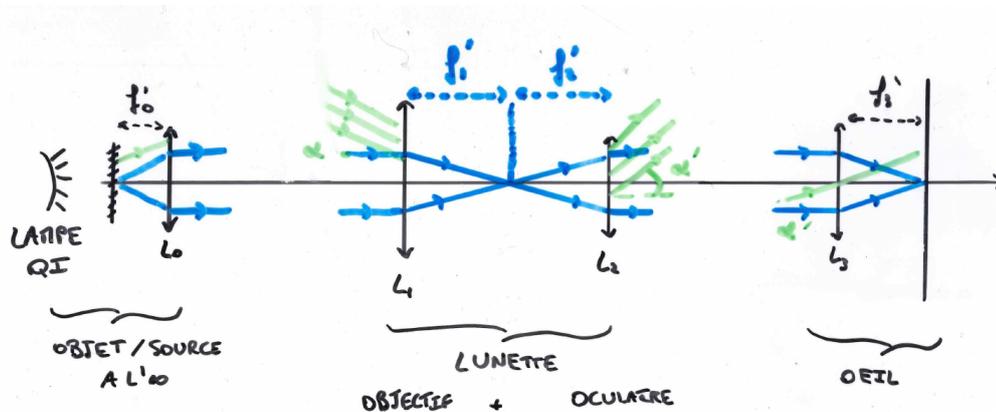


FIGURE 1 – La lunette de Kepler.

Lunette de Kepler



⌚ 15 min

On installe les trois éléments optiques qui vont nous servir : la source (qu'on pourra modifier par la suite), l'œil (qu'on ne changera pas), et la lunette.

- On commence par créer un objet à l'infini. Pour cela on utilise une lampe QI avec un dépoli qui éclaire une grille, et on fait l'image de la grille à l'infini avec une lentille ($f = 300$ mm). Le dépoli est ajouté ici pour avoir un éclairage homogène de la grille et supprimer le filament dans l'image finale (peut éviter les mauvais réglages).
- On fabrique un œil avec un écran dans le plan focal image d'une lentille ($f = 300$ mm). On forme alors une image nette pour un objet à l'infini.
- On place deux lentilles pour faire la lunette (objectif $f_1 = 300$ mm et oculaire $f_2 = 500$ mm). On crée alors un système afocal, objet à l'infini et image à l'infini.

↓ L'une des caractéristiques principales de la lunette est son grossissement. Nous allons donc chercher à le mesurer.

1.2 Grossissement

La grandeur caractéristique de notre lunette est son grossissement G , qui constitue l'un de ses points forts. On va mettre en évidence expérimentalement que :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_1}{f_2}$$

Ici le système est afocal, le grossissement est donc égal au grandissement. De façon plus rigoureuse, c'est donc le grandissement que l'on va mesurer.

Mesure du grossissement



⊖ un gros quart d'heure

"Droite gratuite"

- On fixe la focale f_1 de l'objectif et on calcule G pour plusieurs focales de l'oculaire f_2 . G est calculé en faisant le rapport des tailles de l'image et de l'objet sur l'écran (**Attention** : il faut bien prendre pour objet l'image de la grille sur l'écran en l'absence de lunette, et non la grille elle-même!).
- On trace alors G en fonction de $1/f_2$ pour avoir une droite. On calcule la pente, on doit retrouver f_1 .
- Penser aux incertitudes (les prochaines incertitudes seront analogues) : incertitude de lecture sur l'écran, incertitude constructeur sur la focale, mais surtout incertitude sur le réglage de l'oculaire.

Expérimentalement, on trouve : $f_1^{exp} = \quad \pm \quad$.

↓ *Le grossissement n'est pas la seule grandeur pertinente pour la lunette. Le grossissement obtenu pour la lunette présentée n'est pas très important, et l'image n'est pas de très bonne qualité. D'autres éléments optiques permettent de complexifier la lunette et de former une image de meilleure qualité.*

1.3 Diaphragmes de champ et d'ouverture – verre de champ

On cherche à améliorer la qualité de l'image. Dans un premier temps on remarque qu'il existe une position optimale de l'œil par rapport à la lunette : c'est le cercle oculaire. Pour cette position, on maximise la lumière qui entre dans l'œil, l'image est donc plus lumineuse.

Par ailleurs, les lunettes astronomiques usuelles sont plus complexes que la lunette de Kepler présentée ici et produisent des images de meilleure qualité. On propose ici d'étudier d'autres éléments d'une lunette astronomique : les diaphragmes de champ et d'ouverture, et le verre de champ.

Diaphragmes de champ et d'ouverture



⊖ 5 min

Le but de la manip est de montrer qualitativement les diaphragmes d'ouverture et de champ, et d'en montrer les rôles respectifs.

- On place un diaphragme juste après l'objectif, c'est le diaphragme d'ouverture. En fermant progressivement le diaphragme, la luminosité de l'image diminue mais pas sa taille.
- On place un diaphragme juste avant l'oculaire, c'est le diaphragme de champ. En fermant le diaphragme, la taille de l'image diminue mais elle reste aussi lumineuse qu'avant. On observe un brouillage sur les bords : on peut placer le diaphragme entre l'objectif et l'oculaire au niveau de l'image intermédiaire, on ne brouille plus les bords.

Verre de champ



⊖ 5 min

On montre comment améliorer l'image finale en ajoutant une lentille, le verre de champ.

- On place une lentille à l'image intermédiaire (dans la lunette). L'image obtenue sur l'œil a toujours le même grossissement, mais on a davantage de lumière (faisceau élargi, on voit plus).

↓ La lunette comporte également un certain nombre de limitations : les aberrations dues aux lentilles par exemple, mais également le pouvoir de séparation.

1.4 Pouvoir de séparation

Pour un instrument optique comme la lunette, l’important est de bien voir les objets. On cherche à avoir la meilleure image possible, mais aussi à avoir la meilleure résolution possible sur l’objet. Par exemple, on veut pouvoir identifier nettement deux objets lumineux très proches comme deux étoiles. L’optique géométrique vient cependant limiter les capacités de l’instrument. On doit trouver notamment un compromis entre le diaphragme d’ouverture (contrôlant la luminosité de l’image) et la distance minimale qu’il est possible d’observer entre deux points objets. Pour cela, il existe un critère quantitatif : le critère de Rayleigh.

Pouvoir de séparation



⊖ 5 min

L’idée est de montrer le compromis à trouver pour les performances de la lunette. On montre en particulier qu’il existe une limite sur la distance entre les objets observés pour avoir une image nette.

- On place des trous d’Young en objet. Comme on change d’objet, l’image n’est pas forcément à l’infini donc il faut absolument refaire le réglage de l’image à l’infini de la source par la lentille.
- On met une fente réglable et on la ferme petit à petit. Lorsque la fente est grande on peut voir l’image des deux fentes d’Young, mais quand la fente devient trop petite l’image se brouille et on ne distingue plus les deux fentes.

↓ À présent nous allons étudier un deuxième système optique qui présente de nombreuses analogies avec la lunette de Kepler : le microscope.

2 Microscope

2.1 Passage de la lunette au microscope

Le microscope est un instrument d’optique qui permet d’observer des objets qui ne sont pas situés à l’infini. Comme pour la lunette, on va chercher à grossir ces objets. En revanche, le système n’est plus afocal. Comme l’œil n’accomode pas à l’infini, on envoie toujours l’image de l’objet à l’infini.

Dans ce montage on utilise une source ponctuelle, on va donc perdre en luminosité par rapport à la lunette. Par rapport au montage de la lunette il peut être judicieux de retirer le dépoli (notamment pour les mesures).

Montage du microscope

🔧 Duffait Capes p.186

⊖ 3 min 25

On monte le microscope !

- Réglage rapide de la source qui doit être un faisceau de lumière parallèle. On fait bien l’image d’un trou source !
- On place l’objet à étudier sous éclairage en lumière parallèle (de fait l’œil forme une image floue).
- On place deux lentilles : objectif ($f_1 = 160$ mm) et oculaire ($f_2 = 250$ mm). L’objectif crée une image intermédiaire que l’on envoie à l’infini via l’oculaire.

2.2 Diaphragmes de champ et d’ouverture

Comme pour la lunette, on peut relever l’importance des diaphragmes de champ et d’ouverture pour le microscope, qui sont essentiels pour caractériser les microscopes du commerce.

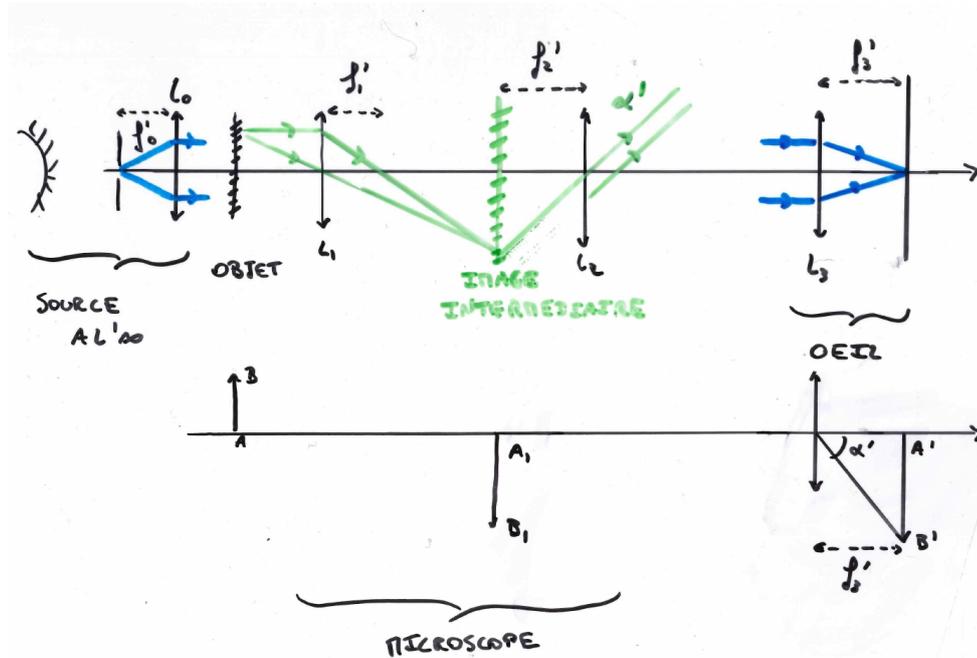


FIGURE 2 – Schéma du microscope.

Diaphragmes

⚡ ⊖ 5 min

Comme pour la lunette, on montre très rapidement l'importance des diaphragmes.

- On place un diaphragme juste après l'objectif, c'est le diaphragme d'ouverture. En le fermant, la luminosité de l'image diminue mais pas sa taille.
- On place un diaphragme juste avant l'oculaire, c'est le diaphragme de champ. Si on le ferme, la taille de l'image diminue mais elle reste aussi lumineuse qu'avant.

↓ On cherche à présent à caractériser notre microscope. On va donc chercher à mesurer les grandeurs qui caractérisent un "bon" microscope : son grandissement et sa puissance.

2.3 Mesure de grandeurs caractéristiques

Pour caractériser un objectif de microscope, on mesure son grandissement :

$$\gamma_{objectif} = \frac{A_1B_1}{AB}$$

Grandissement

⚡ ⊖ 5 min

On mesure le grandissement du microscope en comparant la taille de l'image intermédiaire et de l'objet. On trouve

$$\gamma_{objectif}^{exp} = \pm$$

Pour un oculaire, la grandeur pertinente est sa puissance :

$$P_{oculaire} = \frac{\alpha'}{A_1B_1} = \frac{A'B'}{A_1B_1} \frac{1}{f'_{\text{œil}}} = \frac{1}{f'_2}$$

Puissance



⊖ 5 min

On mesure la puissance du microscope en comparant la taille de l'image intermédiaire et de l'image finale (faite par l'œil). On trouve $P_{oculaire}^{exp} = \pm$.

Finalement, le microscope complet est caractérisé par sa puissance :

$$P = \gamma_{objectif} P_{oculaire} = \frac{F'_1 F_2}{f_1 f_2}$$

On obtient donc pour notre microscope : $P^{exp} = \pm$.

L'indication fournie par le constructeur étant le grossissement commercial :

$$G^{commercial} = 25 \times P$$

Remarque :

25 cm : il s'agit du punctum proximum d'un œil sain.

Remarque

Rappelons qu'un objectif de microscope n'est pas une simple lentille, mais un système optique plus complexe qui minimise les aberrations (notamment chromatiques) et qui doit avoir la meilleure ouverture numérique possible (non abordée ici).

Conclusion

En conclusion, on a présenté au cours de ce montage deux instruments d'optique qui, tout en étant différents, ont un certain nombre de similitudes. La lunette de Kepler permet l'observation d'objets à l'infini (étoiles, planètes, ...) alors que le microscope permet l'observation d'objets de petite taille à distance finie (cellules vivantes, cristaux, ...). Dans les deux cas on veut créer des images plus grandes que les objets de départ. Ces instruments permettent d'élargir notre champ d'observation limité par l'œil lui-même. Cependant, il y a un certain nombre de contraintes importantes pour la réalisation de l'instrument : luminosité de l'image, luminosité de l'objet observé, pouvoir de séparation, aberrations dues aux systèmes optiques utilisés, etc. Il est possible d'améliorer ces instruments, ou de les rendre plus spécifiques à certaines observations, en y ajoutant d'autres éléments optiques ou en les choisissant judicieusement : diaphragmes de champ et d'ouverture, lentille de champ, lentilles minimisant les aberrations, ...

Les systèmes optiques abordés ici sont très généraux et leurs propriétés se retrouvent dans beaucoup d'autres instruments comme par exemple les objectifs d'appareil photo, où l'on joue sur d'autres critères pour améliorer l'appareil (ouverture, profondeur de champ par exemple). Soulignons aussi l'importance encore actuelle de ces systèmes et des problèmes abordés au cours de ce montage, par exemple pour la réalisation de microscopes plus performants.