

MP07 – INSTRUMENTS D’OPTIQUE

20 mai 2019

Lagoin Marc & Ramborghi Thomas

Commentaires du jury

- Il faut connaître les conditions d’obtention d’une image d’une bonne qualité.
- Les limitations et les défauts des instruments présentés sont attendus.
- Il faut comprendre les conditions pour lesquelles la mesure d’un grossissement puisse se ramener à celle d’un grandissement lorsque des dispositifs afocaux sont présentés.
- Les notions de stigmatisme (approché et rigoureux), de conditions de Gauss, d’aberrations géométriques et chromatiques doivent être connues.

Bibliographie

- ✦ *Expérience d’optique, agrégation de sciences physiques*, **R. Duffait** Pour la partie sur la lunette d’optique (voir page 100).
- ✦ *Expériences de physique, capes de sciences physique*, **R. Duffait** Pour la partie sur le microscope (voir page 186).
- ✦ *Physique expérimentale aux concours de l’enseignement*, **J-P Bellier** Pour l’expérience du microscope (voir page 135).
- ✦ *Physique expérimentale*, **Jolidon** Pour un rappel important sur la formation d’une belle image (page 55) et un rappel sur la focométrie (méthode d’autocollimation et de Bessel page 75)

Biblio complémentaire :

Info cool sur les yeux Site internet consultable [ici](#). Il s’agit ici d’une seconde lecture!

Expériences

- Pour la lunette astronomique :
 - ✦ Calcul du grossissement
 - ✦ Identification des diaphragmes
 - ✦ Mesure du diamètre du cercle oculaire
 - ✦ Détermination de la position du cercle oculaire
 - ✦ Utilisation qualitative d’un verre de champ
- Pour le microscope :
 - ✦ Évolution de la puissance du microscope en fonction de son intervalle optique

Table des matières

1	La lunette astronomique	2
1.1	Réalisation expérimentale d’une lunette astronomique sur banc optique	2
1.2	Mesure du grossissement	3
1.3	Diaphragmes et pupilles	4
2	Le microscope	6
2.1	Réalisation expérimentale du microscope	6
2.2	Détermination de la puissance du microscope	7

Nota Bene : Avant de commencer à lire le montage, je conseil vivement de lire le chapitre II.1 page 55 expliquant la façon de faire des images de bonnes qualités. Il s’agit d’un critère important pour le jury et servira dès lors que l’on réalise un montage d’optique. Il est long et il vaut donc mieux le lire avant les oraux pour pouvoir se contenter d’une lecture en diagonale le jour J.

Introduction

L’œil possède des propriétés assez incroyable : nous pouvons différencier près de huit millions de nuances dans les couleurs et nous avons une sensibilité modulable par la présence d’un diaphragme ici la pupille. Notons que l’œil possède entre 3 et 4 millions de cônes et entre 92 à 100 millions de bâtonnets en moyenne ! Pour avoir des images nettes d’objets situés à différentes distances, les yeux peuvent accommoder. Pour cela, le cristallin se déforme dans le sens d’un accroissement du pouvoir de réfraction.

Cependant ces différentes performances peuvent se montrer insuffisante lorsque nous nous intéressons à l’infiniment grand (observation d’étoiles à des distances colossales) ou à l’infiniment petit (observation de cellules, de la structure interne d’un roche). Pour pousser nos études dans ces domaines, nous pouvons passer par l’utilisation d’instruments d’optique.

Définition : nom générique donné à des associations de lentilles ou de miroirs, destinées à former des images dans des conditions précises. Pour les objets lointains, nous étudierons la lunette astronomique et pour les objets proches, nous étudierons le microscope.

1 La lunette astronomique

Une lunette astronomique est un instrument afocal, un objet à l’infini donnant une image à l’infini, formé de deux lentilles convergentes dont les foyers sont confondus :

- l’objectif (côté objet) est une lentille de longue focale par où entre la lumière ;
- l’oculaire (côté œil) est une lentille de courte focale par où sort la lumière.

1.1 Réalisation expérimentale d’une lunette astronomique sur banc optique

Le schéma globale d’une lunette astronomique est donné en figure 1.

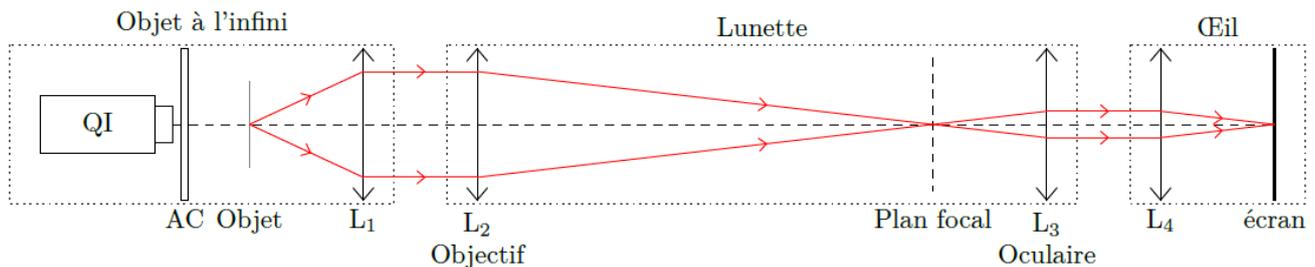


FIGURE 1 – Schéma de principe de la lunette. Cette figure a été prise dans le poly de Jérémy Ferrand.

Comme nous pouvons le voir, la réalisation expérimentale de l’objet passera par 3 étapes : la réalisation de l’objet à l’infini, la réalisation de l’œil et la réalisation de la lunette à proprement parlée.

- Réalisation d’un objet à l’infini :

Nous plaçons l’objet dans le plan focal objet d’une lentille L_1 par autocollimation. Attention aux aberrations qui pourraient fausser la mesure. Nous choisissons la monture de L_1 suffisamment grande pour que le faisceau lumineux en sortie d’objet éclaire l’intégralité de la monture de l’objectif (lentille L_2). Ceci permet par la suite de faire varier l’ouverture du diaphragme d’ouverture en positionnant un diaphragme devant la monture de l’objectif.

La focale est choisie pour minimiser l’encombrement. Une fois l’objet à l’infini créé, rendre solidaires la lentille et l’objet à l’aide d’une barre et les fixer sur le banc définitivement.

- Réalisation de l’œil :

L’œil est construit à l’aide d’un écran placé dans le plan focal image d’une lentille L_4 . Ces deux éléments doivent être rendus solidaires également, pour faciliter les déplacements de l’œil simplifié sur le banc optique.

Pour s’assurer d’être dans le plan focal de la lentille, il faut d’une part que l’image de l’objet à l’infini soit nette sur l’écran de l’œil simplifié, et d’autre part que toute translation de l’œil simplifié sur le banc optique n’affecte pas la netteté de l’image.

- Réalisation d’une lunette :

Prendre une lentille L_2 pour l’objectif et L_3 pour l’oculaire. Pour avoir un grossissement supérieur à 1, il faut choisir $f'_2 > f'_3$. Construire un système afocal entre l’objet et l’œil en faisant correspondre le plan focal image de L_2 avec le plan focal objet de L_3 . La lunette est alors réalisée.

Le système afocal est réalisé quand l’image sur l’écran est nette. Vérifier que les longueurs entre les objets correspondent aux focales des lentilles. Si ce n’est pas le cas, vérifier tous les éléments du montage.

Transition :
 | Maintenant que nous avons construit notre instrument d’optique nous allons le caractériser.

1.2 Mesure du grossissement

L’objet et l’image à travers une lunette sont tous deux situés à l’infini. La grandeur adaptée à ce cas de figure s’appelle le grossissement optique G , ou grandissement angulaire. Avec les notations de la figure 2, il est défini par :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} \tag{1}$$

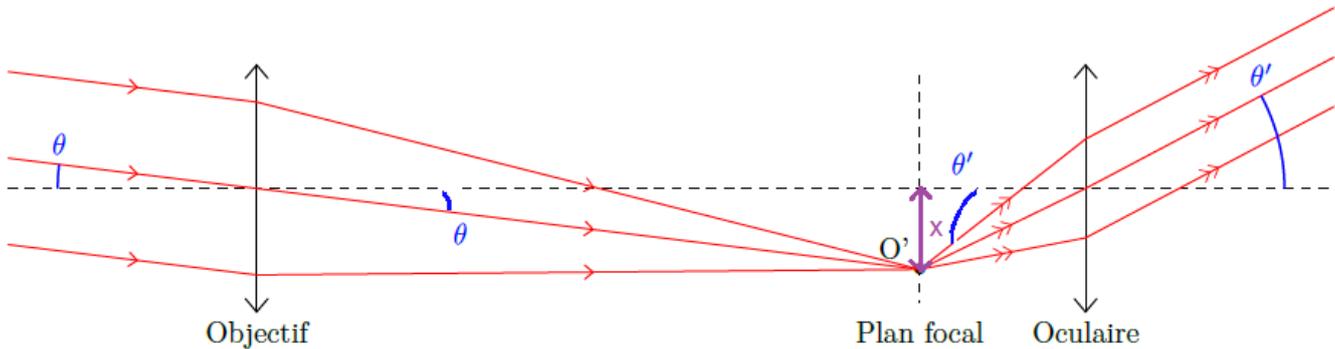


FIGURE 2 – Schéma définissant le grossissement. Cette figure a été prise dans le poly de Jérémy Ferrand.

En se plaçant dans les conditions de Gauss (approximation des petits angles), on peut exprimer le grossissement en fonction des distances focales de l’objectif et de l’oculaire. Nous avons les relations :

$$\tan \theta = \frac{x}{f'_2} \tag{2}$$

$$\tan \theta' = \frac{x}{f_3} \tag{3}$$

D’où :

$$G = \frac{f'_2}{f_3} \tag{4}$$

Si nous regardons la façon dont a été construit l'objet à l'infini et l'œil fictif, nous pouvons relier facilement les angles θ et θ' au dimension de l'objet l et de son image dans l'œil l' . Dans les conditions de Gauss, nous avons :

$$\theta = \frac{l}{f_1} \quad (5)$$

$$\theta' = \frac{l'}{f_4} \quad (6)$$

Nous souhaitons nous affranchir de l qui est une inconnu en astrophysique. Sans lunette, l'image de l'objet dans l'œil noté l'_0 est relié à l par la relation (toujours dans les conditions de Gauss) :

$$l'_0 = l \frac{f'_4}{f_1} \quad (7)$$

D'où :

$$G = \frac{l'}{l'_0} \quad (8)$$

Nous utilisons dans la suite cette dernière relation pour vérifier expérimentalement l'expression du grossissement donnée par l'équation 4.



Mesure du grossissement



⊖ 3 minutes

Choisir un objectif et un oculaire de distances focales connues et mesurer le grossissement en utilisant la relation 8. Pour l'objet nous pouvons prendre une grille a par exemple l'avantage de donner un motif périodique, qui permet de réduire les incertitudes.

1.3 Diaphragmes et pupilles

- Identification des diaphragmes

Dans une lunette astronomique réelle, la monture de l'objectif joue le rôle de diaphragme d'ouverture et contrôle la luminosité de l'image. En revanche, la monture de l'oculaire joue le rôle de diaphragme de champ et contrôle le champ visible de l'image. C'est également le cas sur la lunette modèle construite sur banc optique dès lors que les montures des lentilles jouant le rôle d'objectif et d'oculaire ont un diamètre comparable. Attention lorsque l'on placera des diaphragmes devant lesdites lentilles : si l'un des diaphragmes est beaucoup plus fermé que l'autre, il se peut qu'il devienne à la fois diaphragme d'ouverture et diaphragme de champ.



Identification des diaphragmes



⊖ 3 minutes

Placer deux diaphragmes à iris contre l'objectif et l'oculaire et montrer leur rôle distinct sur l'image définitive : l'un contrôle la luminosité de l'image (ouverture), l'autre le champ (partie de l'objet visible à travers l'instrument).

Les conjugués du diaphragme d'ouverture dans les différents espaces (objet ou image) sont appelés pupilles. Les conjugués du diaphragme de champ sont nommés lucarnes.

- Diaphragme d'ouverture et cercle oculaire

Le diaphragme d'ouverture peut être un diaphragme placé à dessein pour contrôler la quantité de lumière entrant dans l'instrument, ou plus généralement la monture d'un élément optique comme nous l'avons vu précédemment.

Le cercle oculaire est l'image géométrique de la monture de l'objectif par l'ensemble des éléments optiques qui le suivent, réduits ici au seul oculaire. Étant donné que l'objectif joue le rôle de diaphragme d'ouverture dans la lunette

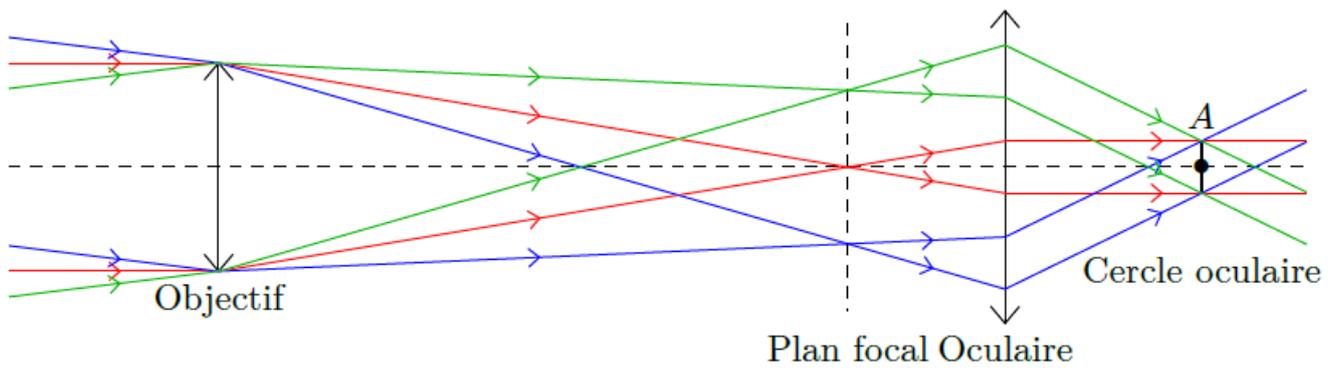


FIGURE 3 – Schéma décrivant la construction géométrique du cercle oculaire. Cette figure a été prise dans le poly de Jérémy Ferrand.

astronomique, le cercle oculaire est la pupille de sortie du système optique. Un schéma décrivant la construction géométrique du cercle oculaire est donné en figure 3.

Par un calcul géométrique, on obtient la position du cercle oculaire, représentée par le point A, par rapport au centre de l’oculaire :

$$O_{oc}A = (f'_{oc} + f'_{obj}) \frac{f'_{oc}}{f'_{obj}} \quad (9)$$

Concrètement, le cercle oculaire est à l’endroit où la section du faisceau lumineux après l’oculaire est la plus petite, la plus brillante et la plus nette. Il faudra placer la lentille de l’œil simplifié systématiquement au niveau du cercle oculaire pour bénéficier d’une observation optimale.

Détermination de la position du cercle oculaire



⌚ 3 minutes

Prendre un objet diffusant, par exemple un verre dépoli, pour augmenter la luminosité transmise et ne pas avoir à se soucier d’éventuelles images intermédiaires de l’objet initial. Mesurer la position du cercle oculaire et comparer à la formule théorique. Pour trouver le cercle oculaire, déplacer un écran ou une feuille de papier derrière la lunette. L’image formée en aval de la lunette qui sera la plus petite, la plus nette et la plus lumineuse, constitue le cercle oculaire. L’incertitude sera ici la plage sur laquelle nous avons du mal à voir la taille/ intensité variée.

Le diamètre du cercle oculaire D_{CO} est lié au diamètre du diaphragme d’ouverture D_{DO} par la relation :

$$D_{CO} = \frac{D_{DO}}{G} \quad (10)$$

Mesure du diamètre du cercle oculaire



⌚ 3 minutes

Mesurer le diamètre du cercle oculaire correspondant au diamètre fixe d’un diaphragme placé devant l’objectif, qui joue alors le rôle de diaphragme d’ouverture de diamètre modifiable. On place un diaphragme accolé à l’objectif pour contrôler le flux lumineux d’entrée dans le système optique et piloter la taille du diaphragme d’ouverture. Pour mesurer le diamètre du diaphragme, on peut d’abord fixer une longueur sur un pied à coulisse puis refermer le diaphragme autour.

- Diaphragme de champ et verre de champ

On peut améliorer l’instrument en plaçant dans le plan de l’image intermédiaire une lentille convergente de grand diamètre ($f \approx 15\text{cm}$). Le grossissement de la lunette n’est pas modifié et le cercle oculaire est rapproché de l’oculaire. Cette lentille supplémentaire est le verre de champ. Le fonctionnement du verre de champ est expliqué à l’aide de schémas figure 4.

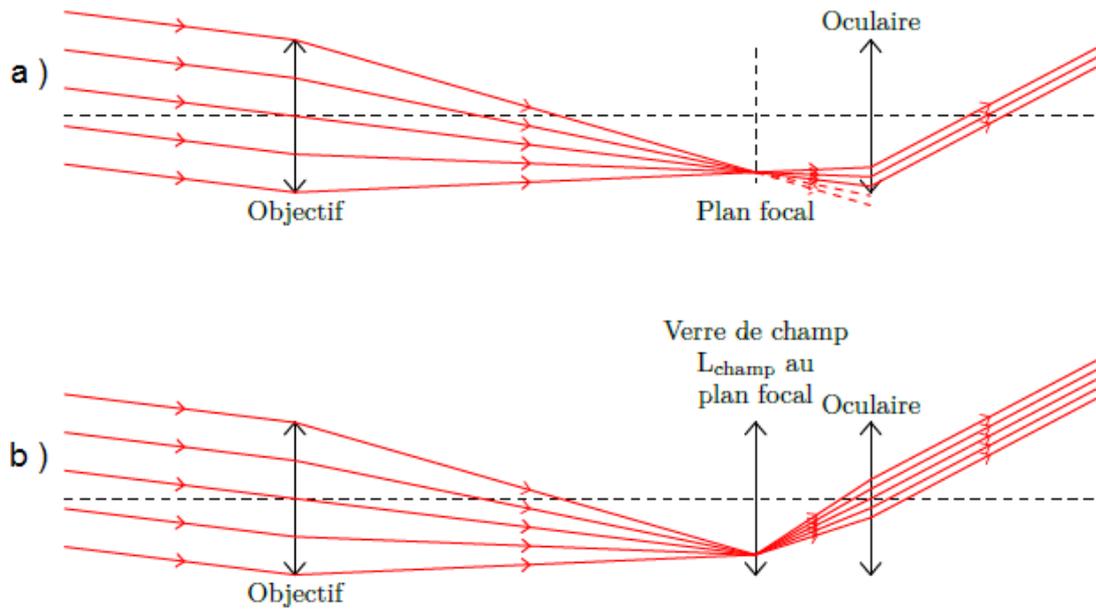


FIGURE 4 – Schéma expliquant l’utilisation d’un verre de champ par comparaison du chemin suivie par les rayons lumineux sans (cas a) et avec (cas b) verre de champ. Cette figure a été prise dans le poly de Jérémy Ferrand.

Le faisceau est ramené dans les conditions de Gauss en présence d’un verre de champ. Les rayons périphériques passent en totalité dans l’oculaire. La focale du verre de champ est choisie de manière à conserver un système afocal.

Utilisation qualitative d’un verre de champ

🔧 ⌚ 3 minutes

Placer un diaphragme de champ et un verre de champ au niveau de l’image intermédiaire et observer l’effet sur l’image. Attention à bien replacer l’œil au cercle oculaire après avoir placé le verre de champ pour maximiser la luminosité de l’image. Le verre de champ sera correctement placé lorsque l’image aura la même taille avec et sans verre de champ.

Pour notre lunette, le fait de ne pas placer le verre de champ sur l’image intermédiaire a un impact apparent sur le grossissement de la lunette. En réalité, le système global n’est plus afocal et la notion de grossissement n’est plus adaptée au système car les rayons en sortie ne sont plus parallèles entre eux, pour une inclinaison donnée.

Transition :

Maintenant que nous avons monté et caractérisé un instrument utilisé pour étudier l’infiniment grand, nous allons pouvoir passer à l’étude d’un second montage : le microscope permettant l’étude de système microscopique.

2 Le microscope

2.1 Réalisation expérimentale du microscope

Un schéma du montage est donné en figure 5.

Comme pour la lunette astronomique, le microscope est modélisé par un système de deux lentilles convergentes : l’objectif (de distance focale f_2 de valeur faible) et l’oculaire (de distance f_3 qui a le même rôle qu’une loupe).

Contrairement au montage précédent pour lequel les 2 foyers concordaient, le microscope est caractérisé par la distance non nulle entre le foyer image de l’objectif F'_2 et le foyer objet de l’oculaire F_3 appelé intervalle optique. Il est donc donné par :

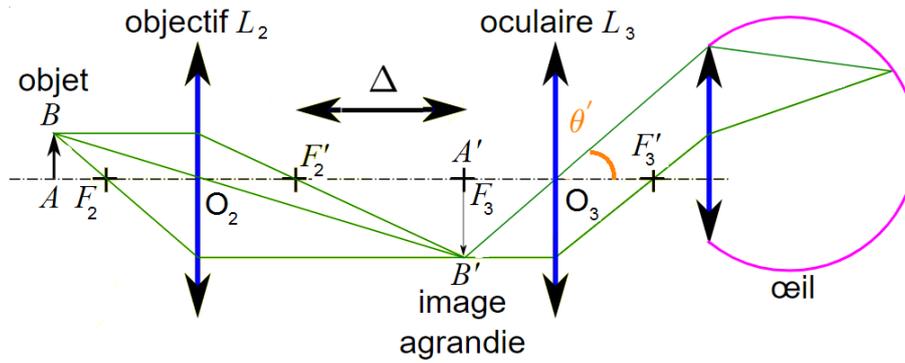


FIGURE 5 – Schéma expliquant l’utilisation d’un verre de champ par comparaison du chemin suivie par les rayons lumineux sans (cas a) et avec (cas b) verre de champ. Cette figure a été prise sur la page [Wikipédia](#).

$$\Delta = \overline{F_2' F_3} \tag{11}$$

Nous n’aurons plus besoin de la première lentille puisque l’objet que nous observons n’est plus à l’infini dans ce cas-ci. Nous pouvons garder notre œil fictif imageant la visualisation d’une image située à l’infini.

Pour l’objet, nous pouvons garder le quadrillage qui pourra être placé derrière un papier diffusant. Nous réglons l’image intermédiaire et l’oculaire pour avoir une image à l’infini. Puisque l’œil est réglé sur l’infini, l’image sur l’écran sera nette lorsque nous aurons atteint la bonne configuration.

2.2 Détermination de la puissance du microscope

L’objectif peut être défini par son grandissement γ_{obj} . L’oculaire donnant une image à l’infini est quant à lui plutôt défini par sa puissance : P_{oc} . Ils sont défini (dans l’approximation de Gauss) par les relations :

$$\gamma_{obj} = \frac{A'B'}{AB} = \frac{\Delta}{f_2'} \quad \text{et} : \quad P_{oc} = \frac{\theta'}{A'B'} = \frac{1}{F_3 O_3} = \frac{1}{f_3} \tag{12}$$

Pour le microscope complet, nous définissons la puissance intrinsèque P donnée par :

$$P = \gamma_{obj} P_{oc} = \frac{\theta'}{A'B'} \frac{A'B'}{AB} = \frac{\Delta}{f_2' f_3} \tag{13}$$

Il s’agit d’une loi que nous allons vérifier par la suite. Il faut donc balancer la formule tel quel sans parler de la démo !

Nota Bene : On définit souvent le grossissement commercial G_{comm} qui est le rapport de l’angle observé avec l’instrument θ' et l’angle observé à l’œil nu θ à une distance d de 25 cm (punctum proximum d’un œil) :

$$G_{comm} = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\theta'}{A'B'} \frac{A'B'}{\theta} = P d \tag{14}$$

Sur un oculaire, il est toujours indiqué son grossissement commercial (ex : $\times 10$). L’indication de l’objectif est, quant à lui, le grandissement (ex : $50\times$). Dans cet exemple, le grossissement commercial est de 500 et la puissance de 2000 dioptries.

Évolution de la puissance du microscope en fonction de son intervalle optique

⌚ 5 minutes

L’idée est de vérifier la relation 13 en traçant $P(\Delta)$. Les valeurs f_2' et f_3 pouvant être calculées précisément par autocollimation ou par la méthode de Bessel, nous pouvons vérifier que le coefficient directeur de la droite obtenue est le bon. Ces 2 valeurs peuvent être déterminées en préparation ainsi que f_4' qui nous servira par la suite. On pourra redéterminer f_4' en direct si on a le temps pour montrer nos talents expérimentales.

L’expérience est donné dans le *Physique expérimentale aux concours de l’enseignement* page 135.

La puissance du microscope nous est donnée par :

$$P = \frac{\theta'}{AB} \quad \text{avec :} \quad \theta' = \frac{A''B''}{f'_4} \quad (15)$$

où $A''B''$ est la taille de l'image de l'objet sur l'écran.

L'intervalle optique Δ est donnée par :

$$\Delta = O_2A' - f'_2 \quad (16)$$

Maintenant que nous avons nos équations, il nous suffit de faire varier la distance objet-objectif AO_2 et de relever les valeurs de $A''B''$ et de O_2A' correspondantes. Nous obtenons alors une valeur de P et de Δ par les formules données précédemment. Nous réitérons l'opération (d'abord une devant le jury) et nous traçons $P(\Delta)$.

Conclusion

Au cours de ce montage nous avons étudiés et caractérisés 2 montages optiques : la lunette astronomique et le microscope nous permettant l'étude d'objet lointain ou de taille microscopique. Plus précisément, nous avons vu que la lunette était caractérisée par son grossissement, ses diaphragmes et son cercle oculaire. Nous avons également vu l'intérêt d'utiliser un verre de champ. Enfin nous avons déterminé l'évolution de la puissance du microscope en fonction de son intervalle optique.

Ces 2 montages ont été réalisés à l'aide de lentilles achromatiques de bonnes qualités. Il s'agit d'un choix judicieux réalisé en amont pour réduire au maximum les aberrations. Comment se manifeste-elle ? Ceci sera l'objet d'un prochain cours...

Annexes

Présentation des aberrations des lentilles (Pris du poly de Jérémy Ferrand)

En parallèle de cette rédaction, il est conseillé de prendre le Duffai d'optique (Agrégation de sciences physique) page 22 pour avoir des informations complémentaires.

Une lentille est constituée de deux dioptres sphériques de rayons de courbure R_1 et R_2 . Lorsque l'un des deux rayons est infini, on parle de lentille plan-convexe ou plan-concave suivant le signe de l'autre rayon.

- Aberrations géométriques (généralité page 25)

Un objet à l'infini n'est exactement conjugué avec le foyer de la lentille que pour un dioptre présentant un profil particulier (complexe à calculer), mais en aucun cas sphérique. Dans le cas d'un miroir sphérique, le profil idéal serait parabolique par exemple. De plus, même si la relation de conjugaison est vérifiée pour l'infini et le foyer, elle ne l'est alors pas forcément pour un autre couple de plans orthogonaux à l'axe optique... Les lentilles sont sphériques pour des raisons pratiques de fabrication, mais présentent nécessairement des défauts lorsqu'on s'éloigne des conditions de Gauss, i.e. lorsque la sphère s'éloigne de la surface idéale. Les défauts associés sont appelés aberrations géométriques.

- * Caustique (page 28)

Les rayons lumineux traversant une lentille idéale éclairée sous incidence normale se croisent en un point unique, le foyer image. Dans le cas d'une lentille réelle, ils se croisent sur un ensemble de points contenus dans un volume fini.

La lumière se concentre sur l'axe et sur la surface extérieure de ce volume, formant une figure géométrique appelée caustique. Cette caustique est séparée en deux nappes de taille finie : la nappe tangentielle et la nappe sagittale. Le foyer de la lentille est situé à l'extrémité de ces deux nappes.



Mise en évidence

⊖ 3 minutes

Faire converger la lampe QI sur un trou de 1 ou 2 mm de diamètre (diaphragme à iris). Placer une lentille de grande ouverture assez loin du trou pour que l'éclairage soit presque parallèle. Typiquement, il faut que le faisceau lumineux recouvre toute la surface de la lentille. Utiliser un filtre coloré derrière le trou pour s'affranchir de l'aberration chromatique. Les lentilles plan-convexe Leybold de 20 cm de focale et 11 cm de diamètre conviennent très bien, côté plat face au trou.

Déplacer un écran derrière la lentille et visualiser les différentes figures observées qui sont des sections de la caustique de la lentille. La nappe tangentielle donne les anneaux lumineux, la nappe sagittale est responsable du centre lumineux.

Diaphragmer la lentille : l'extension longitudinale des deux nappes diminue rapidement. On tend vers une convergence du faisceau en un point qui est l'image paraxiale (i.e. dans les conditions de Gauss) du trou source.

Nota Bene : Règle des 4P (plus plat plus près)

Retourner la lentille (face plane vers l'image qui est plus près que la source), et observer de nouveau la caustique. Pour minimiser les aberrations géométriques, la face la plus plane de la lentille doit être placée du côté où la lumière est la plus convergente, c'est-à-dire vers le plus proche de l'objet ou de l'écran.

* Coma (page 29)

Il existe dans la collection une lentille spéciale coma (P108.7), dont le profil a été spécialement dessiné pour corriger les autres aberrations et ne voir que l'aberration de coma. Avec une lentille usuelle, le risque est de confondre la coma avec une caustique déformée car vue de côté.

**Mise en évidence**

⊖ 2 minutes

Se placer dans le plan de l'image paraxiale et diaphragmer légèrement (diamètre 5 cm). Incliner la lentille en la faisant tourner autour d'un axe vertical. Le point brillant se décentre par rapport à l'anneau de forme elliptique allongé horizontalement et la tache prend une forme évoquant celle d'une comète.

* Astigmatisme (page 30)

La lentille présente 2 convergences différentes selon le plan que l'on envisage. La distance entre les 2 focales caractérise l'astigmatisme.

**Mise en évidence**

⊖ 2 minutes

Diaphragmer encore la lentille (2 cm) et l'incliner davantage : la coma se transforme en un segment horizontal. En déplaçant l'écran du côté de la lentille, on trouve une autre position pour laquelle la tache est un segment vertical.

* Distorsions (page 30)

**Mise en évidence**

⊖ 3 minutes

Éclairer un objet étendu (grille de pas 1 cm et de 5 à 10 cm de côté) précédé d'un verre dépoli. Former son image avec la lentille précédente. Placer un diaphragme contre la lentille : le contraste de l'image, homothétique de l'objet, s'améliore.

Déplacer le diaphragme longitudinalement : s’il est placé après la lentille, on observe une distorsion en croissant ou coussinet ; s’il est placé avant la lentille, on observe une distorsion dite en barillet.

Une construction géométrique permet de comprendre ces effets si l’on se rappelle qu’une lentille convergente est trop convergente pour les rayons marginaux qui passent loin de l’axe optique.

- Aberrations chromatiques (page 23)

Les considérations précédentes sur les aberrations géométriques ne tiennent pas compte de la dispersion des verres constituant les lentilles. L’indice dépendant de la longueur d’onde, les propriétés optiques vont également varier suivant la longueur d’onde employée : ce sont les aberrations chromatiques.



Mise en évidence



⊖ 3 minutes

Revenir à la situation expérimentale utilisée pour visualiser la caustique en orientant et en diaphragmant la lentille de manière à diminuer les aberrations géométriques. Placer successivement des filtres colorés (rouge, vert, bleu) et déterminer l’emplacement de l’image paraxiale. Elle est plus proche de la lentille pour les courtes longueurs d’onde.

Faire ensuite l’image du trou en utilisant non plus une lentille simple mais un doublet achromatique : l’image n’est plus irisée.

La distance focale d’une lentille de rayons de courbure algébriques R_1 et R_2 est donnée par la relation :

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (17)$$

On en déduit des formules de conjugaisons que pour une image réelle (distance lentille-image $OA' > f$), les variations de l’indice entraînent une variation de cette distance :

$$\Delta(OA') = - \frac{OA'^2}{f(n - 1)} \Delta n \quad (18)$$

Obtenir une estimation de la dispersion Δn du verre dans lequel la lentille est formée. Au vu de l’équation précédente, le phénomène est d’autant mieux visible que OA' est grand.