

MP07 – INSTRUMENTS D’OPTIQUE

4 avril 2020

Aurélien Goerlinger & Yohann Faure

Commentaires du jury

- 2015, 2016, 2017 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d’obtention d’images de bonne qualité. L’étude des limitations et de 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 certains cas, les candidats peuvent envisager l’utilisation de lunette de visée afin d’améliorer leurs mesures [2017 : de distance].
- 2013, 2014 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d’obtention d’images de bonne qualité. L’étude des limitations et de défauts des instruments présentés est attendue. De bons exposés ont été observés sur ce sujet.
Jusqu’en 2013, le titre était : Instrument(s) d’optique.
- 2012 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d’obtention d’images de bonne qualité. Il ne faut pas appliquer sans discernement un protocole trouvé dans un livre. Les conditions de stigmatisme (approché ou rigoureux), les conditions de Gauss, les aberrations géométriques et les aberrations chromatiques ... doivent être connues. Les manipulations proposées doivent illustrer réellement le fonctionnement de l’instrument choisi.
- 2011, 2010 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d’obtention d’images de bonne qualité. Il n’est pas suffisant d’appliquer aveuglément un protocole trouvé dans un livre.
Jusqu’en 2010, le titre était : Instruments d’optique.
- 2009 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d’obtention d’images de bonne qualité. Il n’est pas suffisant d’appliquer aveuglément un protocole trouvé dans un livre
- 1997 : Il est intéressant d’illustrer l’effet du verre de champ d’un instrument d’optique en expliquant son intérêt. On peut aussi souligner comment les qualités du récepteur jouent sur la résolution spatiale d’un instrument objectif.

Bibliographie

⚡ <i>Optique</i> , Houard	Théorie et critère de Rayleigh
⚡ <i>Physique expérimentale</i> , FLTCD	Manips
⚡ <i>Optique expérimentale</i> , Sextant	Manips
⚡ <i>Expériences de physique au CAPES</i> , Duffait	Manips
⚡ <i>Les instruments d’optique</i> Detwiller	

Expériences



Table des matières

1	La lentille	3
1.1	Auto-collimation	3
1.2	Méthode de Bessel	3
1.3	Aberrations	4
1.4	Limite de résolution en diffraction d’une lentille convergente	4
2	L’appareil photo du paparazzi	5
2.1	Influence du nombre d’ouverture sur l’intensité lumineuse	6
2.2	Influence sur la profondeur de champ	6
3	La lunette astronomique	8
3.1	Principe	8
3.2	Grossissement	8
3.3	Diaphragmes de champ et d’ouverture	9
4	Microscope	10
4.1	Principe	10
4.2	Puissance du microscope	10

Optique donc on ferme les fenêtres

Introduction

Des lunettes de vues aux caméras les plus sophistiquées, on parle d’instrument d’optique. Ces instruments sont utiles en laboratoire, et nous allons aujourd’hui décrire deux (trois?) systèmes optiques.

But du montage : Montrer comment les instruments sont pensées pour accomplir leur objectif.

1 La lentille

Commençons par définir ce qu’est une lentille, base de l’optique.

La lentille obéit, dans l’approximation paraxiale, aux lois de l’optique géométrique. Nous allons dans ce montage déterminer la focale d’une lentille convergente.

Ce que l’on appelle *focale*, c’est la distance entre le point où des rayons venant de l’infini se croisent et le centre optique de la lentille (*centre optique* = point de non déviation).

1.1 Auto-collimation

On exploite ici le principe de retour inverse de la lumière. Si on a une image nette d’un objet sur lui même, c’est que la distance est la bonne!



Mesurer la focale d’une lentille par autocollimation

FLTCD p76

⊙ 2mn

Matériel : Lampe QI + Filtre Anti calorique + dépoli (pour éclairage homogène) + lentille de focale courte (15cm?)

L’objet sera une lettre, on pourra ainsi discuter d’aberrations, et de diaphragme. (attention, vérifier que la taille de l’image ne bouge pas avec la distance du miroir...)

Plage de netteté into mesure à couleurs différentes?

Ca donne un ordre de grandeur pour la méthode de Bessel, où on veut un banc au moins 4 fois plus grand que la focale. (Silbermann si $L=4f'$)

1.2 Méthode de Bessel

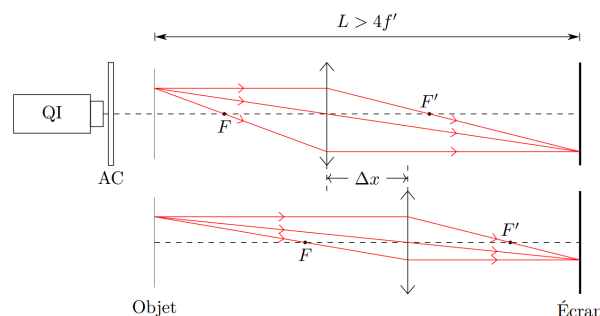


FIGURE 1 – La méthode de Bessel.

La méthode de Bessel est plus précise, elle se base sur le fait qu’une lentille a deux points nets quand on fait une image finie d’un objet fini.

On nomme L la distance entre l’objet et l’écran. On intercale une lentille de courte focale f et on nomme x la distance lentille-objet. On a alors deux x qui assurent la netteté de l’image.

On sait que

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

Ici cela devient :

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{L-x} \quad (2)$$

Et on obtient une équation de degrés 2 en x qui donne deux positions :

$$x^2 - Lx + f'L = 0 \quad (3)$$

Et finalement

$$f' = \frac{L^2 - (\Delta x)^2}{4L} \quad (4)$$

Méthode de Bessel pour mesurer une focale

☞ Ma tête

⊖ 3mm

Tu sais quoi faire.

Incertitudes :

Une mesure de longueur : au mm. Sans compter que le centre optique est dur à repérer, donc plutôt aux 3mm.
La méthode de Bessel : formule simplifiée (incertitude sur-évaluée)

$$\Delta f' = f' \sqrt{5} \left(\frac{\Delta L}{\sqrt{L^2 - \Delta x^2}} \right)$$

1.3 Aberrations

Les aberrations chromatiques :

Du fait de la dépendance en λ de l'indice de réfraction, il y a une dépendance en λ de la focale, et dans la limite du domaine visible, on peut l'interpoler par une droite.

On a $f' = ((n-1)(2/R))^{-1}$, donc grosso modo

$$\Delta n = (n-1) \frac{\Delta f'}{f'}$$

Focale (λ)

☞ Ma tête

⊖ 5mm

Tracer la droite et évaluer la dispersion du verre
évaluer la dispersion du verre.

Les aberrations géométriques :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Aberration_géométrique

1.4 Limite de résolution en diffraction d'une lentille convergente

☞ Houard chap 7, Sextant p135, Duffait p109

Nous proposons ici de visualiser la limite de résolution d'une lentille due à la diffraction.

On peut qualitativement comprendre qu'un point a pour image à travers une lentille convergente une petite tâche. Si deux objets sont trop proches l'un de l'autre, leurs images respectives risquent de se chevaucher. Si elles se chevauchent trop, on ne voit qu'une seule image et non deux : on n'arrive plus à résoudre les deux objets.

Rappelons-nous le **critère de Rayleigh** : deux points sont discernables s'ils sont vus sous une différence d'angle supérieure à $1.22 \frac{\lambda}{D}$ avec λ la longueur d'onde du faisceau lumineux (monochromatique) et D le diamètre de l'ouverture circulaire du système optique.

Afin de mettre en lumière la limite de résolution en diffraction d'une lentille mince, nous allons observer l'image de bifentes d'Young à travers une lentille convergente.

Ensuite, nous montrons à l'aide d'un diaphragme, que nous fermons petit à petit, que la résolution des bifentes est de moins en moins bien marquée. Il arrive un moment où les bifentes ne sont plus discernables : nous avons atteint la limite de résolution en diffraction de la lentille pour ce jeu de fentes.

Limite de résolution en diffraction d'une lentille convergente (qualitatif)



Matériel :

- Un banc d'optique
- QI avec une alimentation à intensité variable (P6.9) + AC
- Trois bifentes (B46) avec leur porte-diapo
- Diaphragme à bords propres (P114/7)
- Lentille achromatique $f' = 100$ mm (P111.1/3) (l'achromat très épaisse)
- Caliens avec ses deux filtres (P17.10/1)
- Oscilloscope 4 voies avec deux câbles BNC pour Caliens
- Des pieds pour banc, avec un pied réglable sur deux dimensions pour Caliens

Expérience :

Le but de la manipulation est ici d'arriver à résoudre les fentes sur l'ordre d'un pixel de Caliens afin de montrer ensuite la limite de résolution en diffraction de la lentille mince. Pour cela, on réalise le montage précédent.

Quelques remarques d'ordre pratique pour mettre en oeuvre cette expérience :

- Tout d'abord, il faut une grande distance entre les bifentes et la lentille : environ 10 fois la distance entre la lentille et Caliens. Ainsi, nous aurons un grandissement de l'ordre de 0.1, ce qui donnera un écart entre les fentes de l'ordre de quelques pixels!

- Pourquoi avoir choisi cette diapo particulièrement ? Parce qu'elle est composée de trois bifentes particulières. Celles du milieu et d'un côté sont de même écartement mais de largeurs différentes, alors que celles du milieu et de l'autre côté sont de même largeur mais d'écartement différent ! Cela permet de montrer par la suite la différence d'intensité sur Caliens et la limite de résolution plus fine pour les fentes avec le plus grand écartement.

- Autre point important : ne pas brancher Caliens à un ordinateur mais directement sur un oscilloscope. Il faut alors mettre le trigger sur celui de Caliens. Là encore petite subtilité, il faut que le trigger fonctionne une fois sur deux... Il faut pour cela utiliser l'option de trigger *Neme front rafale* et mettre une inaction d'au moins 8 ms (supérieur au temps d'acquisition d'une image). Cette option n'est pas présente sur les vieux oscillo, d'où l'utilisation d'un 4 voies. Autre avantage : vous pouvez projeter l'oscilloscope afin que tout le monde puisse voir ce qu'il se passe sans être collé à l'oscillo !

Exploitation :

Une fois que le montage est bien réglé, on peut montrer que l'on arrive à voir les pixels de Caliens. Les fentes ne sont larges que de quelques pixels, voire d'un seul.

Retrouvons au passage l'ordre de grandeur de la taille p d'un pixel. On compte le nombre N de pixels séparant deux fentes et en lisant sur la diapo l'écartement d des fentes, on en déduit : $Np = \gamma d$ avec γ le grandissement ici considéré (de l'ordre de 0.1).

Ainsi, en connaissant d on retrouve l'ordre de grandeur p d'un pixel ! On peut la comparer à la valeur donnée dans la doc de Caliens : $p = 15 \mu\text{m}$.

On introduit maintenant un diaphragme entièrement ouvert avant la lentille. On le ferme peu à peu ce qui diminue forcément l'intensité lumineuse.

Pour quand même avoir un signal avec Caliens, on augmente en même temps l'intensité de la lampe (d'où l'alimentation à intensité variable). On joue à ce petit jeu jusqu'à ce que le contraste de résolution des bifentes commence à diminuer.

A partir d'une certaine taille d'ouverture du diaphragme, les deux premiers couples de fentes ne sont plus résolus alors que le troisième l'est toujours. C'est le critère de Rayleigh au niveau des pixels. Le troisième couple étant d'un écartement plus large que les deux premiers, il faut continuer à fermer le diaphragme pour ne plus le résoudre.

2 L'appareil photo du paparazzi

↗ Sextant p34

Un appareil photo est une combinaison intelligente de diaphragmes et de lentilles qui font une image dont le compromis netteté-luminosité doit être optimal.

On peut l'assimiler à un lentille convergente de focale 13.5cm, munie d'un diaphragme d'ouverture de diamètre d contrôlable. Dans la vraie vie on utilise le terme de *nombre d'ouverture* $N = f/d$, qui diminue avec l'ouverture du diaphragme.

Matériel : QI parallèle dépolie, objet quelconque (la tête de Fourier ?) à distance p de l'objectif, Objectif d'appareil photo en plus plat plus près.

2.1 Influence du nombre d'ouverture sur l'intensité lumineuse

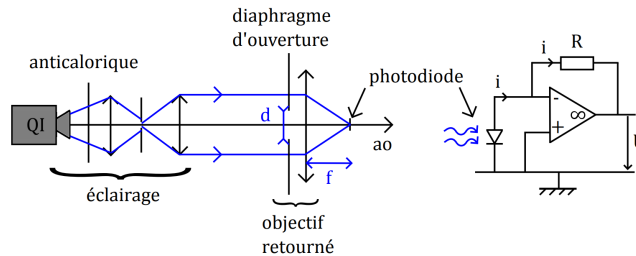


FIGURE 2 – Montage pour l'influence de N sur l'intensité ("retourné"=plus plat plus près).

On a $I \propto S \propto d^2 \propto N^{-2}$



Influence de N sur I

⊖ 10mn

Matériel

Pour réaliser ces mesures de luminosité, on va placer une photodiode en A'. Cette photodiode relie la masse à la branche + d'un A.O. Elle est passante de l'A.O. vers la masse. La branche + de l'A.O. est elle directement reliée à la masse. Une résistance R de l'ordre de $1\text{ M}\Omega$ constitue la rétroaction négative. Ainsi, la tension aux bornes de la photodiode est toujours nulle, ce qui implique qu'elle est traversée par un courant négatif $-i$ relativement faible, mais dont la valeur absolue i croît avec le flux lumineux reçu. Ce même courant traverse la résistance R et on a donc une tension positive $U = V_- - V_S = Ri$ proportionnelle au flux lumineux reçu, donc à la grandeur recherchée I . On doit donc trouver une loi en $U \propto 1/N^2$.

- Pour diminuer au maximum le bruit sur cette mesure, on peut envelopper le faisceau lumineux sortant de l'objectif d'un tube noir, jusqu'à la photodiode;
- On prend les valeurs de U , au voltmètre, pour les différentes valeurs de N possibles pour l'objectif étudié (il y en a un nombre fini réglables);
- on trace U en fonction de $1/N^2$.

2.2 Influence sur la profondeur de champ

⚡ Sextant p35

On voit que si on prend des points autour de A , ils vont faire des images toutes flous toutes moches autour !

Définition : En photographie on nomme *profondeur de champs* la distance Δ de part et d'autre du sujet telle qu'un objet ponctuel fasse une image de $\epsilon = 30\mu\text{m}$ sur l'écran. Pourquoi 30 ? parce que c'est le grain d'un argentique. On prendra 10 fois cette valeur parce que c'est compliqué à mesurer...

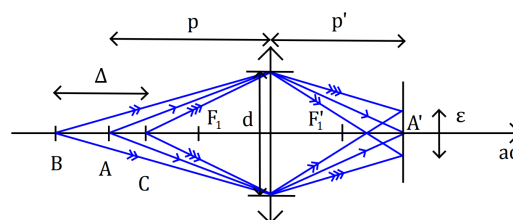


FIGURE 3 – Définition de la profondeur de champ pour l'objectif photographique.

Qualitativement, on voit bien que si le nombre d'ouverture N est plus grand (donc le diamètre d du diaphragme d'ouverture plus petit), les points B et C créeront des faisceaux strictement inclus dans le cercle de diamètre ϵ . Ceci signifie qu'on aura de nouveaux points B' et C' plus éloignés de A et correspondant à un diamètre ϵ sur l'écran, et donc que Δ a augmenté. Conclusion : on s'attend à ce que Δ croisse avec N

$$\Delta = \frac{2p}{\frac{fp'}{N\epsilon p} - \frac{N\epsilon p}{fp'}} \quad (5)$$

Ainsi en travaillant à p et p' fixés, et en choisissant ϵ , la profondeur de champs ne dépend que de N . Avec nos ordres de grandeur, *i.e.* $f=135\text{mm}$, $p=10\text{cm}$, $p'=1\text{m}$, $N<10$ et $\epsilon=100\mu\text{m}$ on a $\frac{fp'}{N\epsilon p} \gg 1$, d'où

$$\Delta = \frac{2N\epsilon p^2}{fp'} \quad (6)$$

On cherche une jolie droite!!



Influence de N sur Δ

☞ Sextant

⊙ 10mm

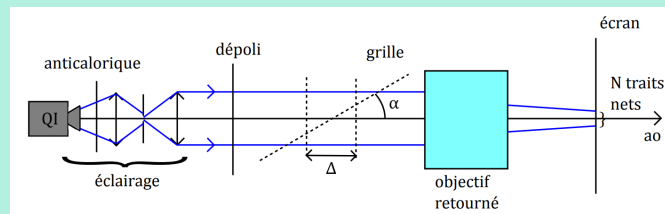


FIGURE 4 – Montage.

Pour mettre en évidence la croissance de Δ avec N et, pourquoi pas, mesurer quelques valeurs de Δ , on utilise comme objet une grille à 2 traits/mm. Il est important d'éclairer la grille en lumière parallèle et de plus forte intensité possible avec la QL, car on place devant la grille un dépoli, pour assurer que chaque trait de la grille envoie des rayons incohérents entre eux dans tout l'objectif.

- Au début, la grille est normale à l'axe optique, qu'elle coupe en un point A dont on fait l'image sur l'écran par l'objectif retourné ;
- Maintenant, on fait pivoter la grille autour de ce point A , de sorte qu'une partie de la grille se trouve hors de la profondeur de champ. L'image de la grille sur l'écran apparaît donc comme une grille nette pour un certain nombre de traits horizontaux (ceux suffisamment proches de l'axe optique pour que l'inclinaison les maintienne dans la profondeur de champ) entourés en haut et en bas par des traits horizontaux plus flous (que l'inclinaison a poussé hors de la profondeur de champ) ;
- En faisant augmenter N , on réduit le diaphragme donc la luminosité, mais on peut voir que le nombre de traits vus nettement augmente ; les zones floues en haut et en bas de l'image régressent ;
- En comptant pour un N donné le nombre n de traits vus nettement, on peut remonter à la profondeur de champ Δ , à condition de connaître l'inclinaison α que fait la grille par rapport à l'axe optique, et le nombre linéique a de traits de la grille. En effet, on a que $\Delta = N \cos \frac{\alpha}{a}$.
- Le critère « traits vus nettement » détermine notre critère de sélection ϵ . On considère qu'un trait n'est plus vu net à partir du moment où son image sur l'écran se retrouve réduite d'environ un quart. Sachant que l'image sur l'écran d'un trait fait environ 1 mm d'épaisseur, on peut donc considérer que notre critère de sélection correspond à $\epsilon = 0.25 \text{ mm}$.
- On peut donc calculer Δ par la formule 6 et comparer à la valeur mesurée en comptant les traits nets. On doit obtenir sensiblement les mêmes valeurs.

3 La lunette astronomique

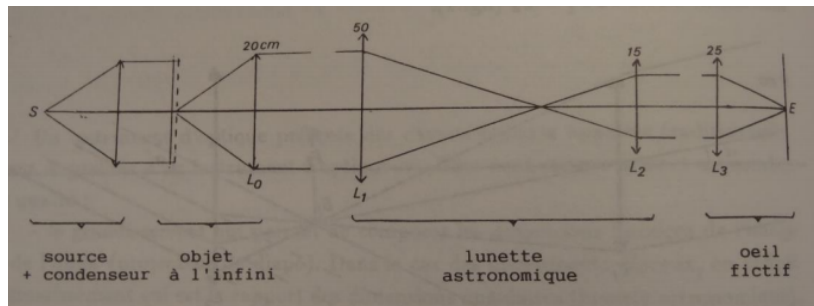


FIGURE 5 – Le montage de la lunette astronomique.

3.1 Principe

La lunette est un système afocal, *i.e.* qu'elle fait une image à l'infini d'un objet à l'infini. Elle est composée de 2 lentilles : la première est *l'objectif* et la seconde est *l'oculaire*.

L'image intermédiaire d'un objet à l'infini se forme dans le plan focal image de la première lentille, qui est confondu avec le plan focal objet de la seconde lentille.

C'est pratique parce que ça évite à l'utilisateur d'accommoder donc de se fatiguer l'oeil.

3.2 Grossissement

Quand on pointe une lunette astronomique sur la Lune, on la voit plus grosse qu'elle apparaît à l'oeil nu. En effet, la lunette grossit les objets observés par rapport à leur taille apparente à l'oeil nu.

On définit alors son *grossissement* par :

$$G_{th} = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_1}{f_2}$$

Calcul de G_{th}



On peut le faire en préparation ou pendant le montage. Mesurer les focales f_1 et f_2 par autocollimation ou par la méthode de Bessel (cf Sanz, p303).

On rappelle la formule pour la méthode de Bessel : $L^2 - (\Delta x)^2 = 4f'L$

Montage de la lunette



Bellier



On monte la lunette (en live ou en préparation, au choix suivant les autres choix indiqués, son aisance etc... de toute manière il faut monter soit la lunette soit le microscope devant le jury). Donc sur le banc :

- Objet à l'infini : QI (avec alim' réglable c'est top car pas besoin de mettre un dépoli contre l'objet (on peut vite se retrouver avec des images très lumineuses)) + AC + achromat $f_1 = 300$ mm, on met l'objet au foyer par autocollimation.

- Oeil : avec un achromat $f_{oeil} = 300$ mm et un écran (le tout sur banc) : on fait l'image nette sur l'écran (celui ci est alors au foyer de L_{oeil}).

- Lunette : on place l'objectif, achromat $f_{obj} = 300$ mm et l'oculaire, achromat $f_{oc} = 100$ mm de manière à retrouver une image nette sur l'écran (mais agrandie)

Mesure du grossissement G_{exp}

🔗 Bellier



On mesure la taille de l’image $A'B'$ de l’objet sur l’écran avec et sans lunette, puis on fait le rapport avec sa taille réelle AB pour trouver $G_{exp} = \frac{A'B'}{AB}$.

Justifier les incertitudes et comparer à G_{th}

Incertitudes

$$u(G) = G \sqrt{\left(\frac{u(A'B')}{A'B'}\right)^2 + \left(\frac{u(AB)}{AB}\right)^2}$$

Autre manip

Faire varier f_2 et mesurer à chaque fois G . Tracer $G = f(1/f_2)$ et vérifier que c’est une droite de pente f_1

3.3 Diaphragmes de champ et d’ouverture

Le **diaphragme d’ouverture** est le diaphragme qui limite la luminosité de l’image. Pour la lunette, c’est la monture de l’objectif.

Lorsqu’on s’intéresse à une lunette, on remarque que les rayons émergeant de l’oculaire convergent puis divergent. On appelle **cercle oculaire** l’endroit où la section du faisceau lumineux est la plus petite, la plus brillante et la plus nette. Ce cercle oculaire est en fait l’image de la monture de l’objectif par l’oculaire. On place l’œil au cercle oculaire pour avoir une observation optimale de l’image.

Le **diaphragme de champ** est le diaphragme qui limite le champ de vision de l’image. Pour la lunette, c’est la monture de l’oculaire

Il donc faut prendre en compte les diamètres des lentilles lorsqu’on veut construire une lunette car leur rôle est très loin d’être secondaire.

Diaphragmes de champ et d’ouverture

🔗 Bellier



On place un diaphragme juste après l’objectif : c’est le **diaphragme d’ouverture** car 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** car en le fermant on diminue la portion d’objet que l’on peut voir sans toutefois changer la luminosité de l’image. On observe un brouillage sur les bords, c’est le champ de contour. En positionnant le diaphragme dans le plan de l’image intermédiaire, on ne brouille plus les bords.

Si on place une troisième lentille entre l’objectif et l’oculaire, on voit qu’on augmente le champ de vision de la lunette. La lentille est alors appelée **verre de champ**.

Verre de champ

🔗 Bellier



On replace le diaphragme de champ contre l’oculaire et on met une lentille convergente au niveau de l’image intermédiaire : le champ observable augmente!

On a vu comment voir des objets petits parce qu’il sont loins. On va maintenant voir comment voir des objets petits mais qui sont proches.

4 Microscope

4.1 Principe

Comme pour la lunette, on modélise un microscope par l’utilisation de deux lentilles convergentes. Cependant ce n’est pas un système afocal. La seule condition à respecter est de faire en sorte que l’image de l’objet par l’objectif soit dans le plan focal objet de l’oculaire (pour avoir une image finale à l’infini et donc éviter l’accommodation).

On note Δ la *longueur optique* qui correspond à la distance entre le point focal image de l’objectif F'_1 et le point focal objet de l’oculaire F_2

Contrairement à la lunette, l’objet n’est plus observé à l’infini mais à une distance proche du foyer objet F_1 de l’objectif. L’objectif donne alors une image A_1B_1 de l’objet AB . On a dit que cette image devait être dans le plan focal objet de l’oculaire donc $A_1 = F_2$. L’image finale $A'B'$ est à l’infini.

4.2 Puissance du microscope

La *puissance* d’un microscope est le rapport de l’angle sous lequel on voit l’objet en sortie de microscope et de la taille AB de l’objet :

$$\mathcal{P} = \frac{\alpha}{AB} = \frac{\alpha}{A_1B_1} \frac{A_1B_1}{AB} = \mathcal{P}_{oculaire} \gamma_{objectif}$$

où $\mathcal{P}_{oculaire}$ est la puissance de l’oculaire et $\gamma_{objectif}$ est le grandissement de l’objectif.

On a $\gamma_{objectif} = \frac{\Delta}{f'_1}$ et $\mathcal{P} = \frac{\gamma_{obj}}{f'_2}$ donc

$$\mathcal{P} = \frac{\Delta}{f'_1 f'_2}$$

Mesure de la puissance

✎ Bellier



Matériel :

- Un banc d’optique (on va faire des mesures)
- QI + AC
- Un objet F modifié avec du papier noir afin de ne pas avoir une image énorme
- Lentille achromatique $f' = 100$ mm (P111.1/3) (l’achromat très épaisse)
- Deux autres lentilles de focales de 200 et 300 mm avec des diamètres assez gros (et achromats si possible)
- Une tige, deux noix, une lentille de focale 300 mm avec un écran
- Des pieds pour banc

Le but est ici de vérifier expérimentalement ces trois relations.

Eclairer l’objet et placer la lentille achromatique de focale $f'_1 = 300$ mm de telle sorte à ce que l’objet soit dans le plan focal objet de la lentille (par autocollimation).

Placer la lentille/oeil de focale $f'_3 = 300$ mm de telle sorte à prendre toute la lumière (cercle oculaire) et placer l’écran afin d’avoir une image nette. Fixer avec une tige et deux noix la lentille/oeil et l’écran afin de ne plus pouvoir les bouger. Ainsi, l’oeil est réglé à l’infini.

Reculer un petit peu la lentille achromatique sur le banc (l’éloigner de l’objet) afin de se placer dans les conditions d’un microscope, elle devient alors l’objectif du microscope. Placer alors la lentille/oculaire de focale $f'_2 = 200$ mm entre L_3 et L_1 et chercher la position qui donne une image nette à travers l’oeil sur l’écran.

On peut mesurer la taille de l’image de l’écran $A'B'$.

Placer un écran sur le banc et chercher la position de l’image intermédiaire et mesurer sa taille A_1B_1 et relever sa position O_1A_1 .

Mesurer également O_1A et grâce aux relations précédemment citées et à des mesures en préparation pour différentes longueurs O_1A , tracer $\mathcal{P} = f(\Delta)$ et $\gamma_{obj} = g(\Delta)$ et vérifier qu’on obtient bien des droites de pente $p = \frac{1}{f'_1 f'_2}$ et $p' = \frac{1}{f'_1}$

Annexe : démonstration de la formule de la puissance d'un microscope

$$\text{On a : } \mathcal{P} = \frac{\alpha}{AB} = \frac{\alpha}{A_1 B_1} \times \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{\Delta}{f_1' f_2'} \quad \text{avec } \Delta = F_1' F_2$$

$$\tan \alpha = \frac{A_1 B_1}{f_2'}$$

$$\tan \beta = \frac{AB}{O_1 A} = \frac{A_1 B_1}{O_1 A_1} \Rightarrow \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{O_1 A_1}{O_1 A}$$

$$\Rightarrow \frac{\alpha}{A_1 B_1} = \frac{1}{f_2'}$$

$$\frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{O_1 A_1}{O_1 A} = \frac{f_1' + \Delta}{f_1' - F_1' A}$$

$$\text{or } \overline{F_1' A} \times \overline{F_1' A_1} = -f_1'^2$$

$$\Rightarrow \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{f_1' + \Delta}{f_1' + f_1'^2 / \Delta} = \frac{\Delta}{f_1'} \frac{f_1' + \Delta}{\Delta + f_1'} = \frac{\Delta}{f_1'} = \frac{A_1 B_1}{AB}$$