

---

## MP07 : INSTRUMENTS D'OPTIQUE

---

### 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

—

### Expériences

- Lentille simple : caractérisation par la méthode de Bessel. Je trouve cela bien de commencer par montrer que l'on peut caractériser proprement notre outil de base. (et la méthode de Bessel c'est juste plus hype à présenter que l'autocolimation :))
- Etude du microscope : grandissement et puissance de l'oculaire + influence des diagrammes de champ et d'ouverture (bien faire le lien avec les contraintes que ça implique en pratique).
- Etude de la lunette astronomique : grossissement, limite de résolution par le critère de Rayleigh.
- Pouvoir de résolution d'une barette CCD (est-ce vraiment un instrument d'optique?) dans le cadre de l'appareil photo, c'est une limite par exemple
- Etude d'un appareil photo : influence de l'ouverture sur la luminosité et la profondeur de champ

### Table des matières

<b>1</b>	<b>Lentille simple</b>	<b>2</b>
1.1	Caractérisation d'une lentille . . . . .	2
1.2	Notre oeil . . . . .	3

<b>2 Lunette astronomique</b>	<b>3</b>
2.1 Grossissement . . . . .	3
2.2 Critère de Rayleigh . . . . .	4
<b>3 Microscope</b>	<b>4</b>
3.1 Grandissement et puissance voire sur le sextant pour le schéma . . . . .	4
3.2 Diaphragme de champ, d'ouverture et lentille de champ . . . . .	5
3.2.1 Diaphragme de champ . . . . .	5
3.2.2 Diaphragme d'ouverture . . . . .	5
3.2.3 Lentille de champ . . . . .	5
<b>4 matériel</b>	<b>5</b>
<b>5 Passage de Lucas le 10/05</b>	<b>6</b>
5.1 Questions . . . . .	6
5.2 Commentaires . . . . .	7

## REMARQUES

*Bien noter les focales des lentilles au tableau.*

*Parler de l'endroit où placer l'œil (endroit où les rayons convergent tous : le cercle oculaire)*

## Introduction

C'est probablement un montage dans lequel il faut faire le lien avec les limitations pratiques des appareils.

Ce montage traite des instruments d'optique. Un instrument d'optique est un appareil qui nous permet d'avoir accès (ou de capturer) des images que l'on ne pourrait avoir accès à l'œil nu. Pour le caractériser il faut déterminer les grandes caractéristiques suivantes (Duffait) :

- Grandissement
- Champ
- Clarté (comparaison de grandeurs photométrique de l'image et de l'objet)
- Pouvoir de résolution

Nous allons présenter deux instruments d'optique : la lunette astronomique et le microscope. Mais pour commencer nous allons détailler rapidement l'élément de base que nous allons utiliser dans tous nos montages optique : la lentille. (Il est à noter qu'il existe d'autres type système optique comme les miroirs. Nous ne les traitons pas aujourd'hui)

## 1 Lentille simple

### 1.1 Caractérisation d'une lentille

Un lentille mince est une succession de deux dioptre séparant l'air par un matériaux isotrope (souvent du verre). Nous allons travailler dans les limites de l'optique géométrique (au moins jusqu'à la limite de résolution). Aussi les propriétés importantes d'une lentille mince en optique géométrique sont son **stigmatisme** approché et son **applanétisme**. Or ses propriétés ne sont vrai que dans les conditions de Gauss, c'est à dire pour des rayon proche de l'axe et peu inclinés. Ce sont des conditions qui restreindrons nos système. En effet or de ses conditions, il peut y avoir des phénomènes d'aberrations.

On caractérise une lentille par sa focale que nous allons maintenant déterminer :

Soit on fait une autocollimation en détaillant le protocole, soit on fait la méthode de Bessel. On peut montrer l'autocollimation rapidement, puis parler de la méthode de Bessel ensuite.

On place écran et objet à des distances  $D$  supérieures à  $4f'$ . On montre la technique pour estimer rapidement  $f'$ , et on cherche les positions  $x_1$  et  $x_2$  qui conjuguent l'objet et l'écran. On note  $d = |x_2 - x_1|$  l'écart entre ces positions. On a la relation :  $f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$ . On trace  $D^2 - d^2$  en fonction de  $4D$ . On attend une droite de pente  $f'$ .

Nous avons donc caractérisé l'outil de base qui nous permet de faire des montages optique.

Dans toute la suite, les instruments présentés seront fait pour être utilisé par un oeil emmétrope, c'est à dire sain, qui peut observer sans accommoder à l'infini. Nous allons donc commencer par construire cette oeil.

## 1.2 Notre oeil

L'oeil n'est pas à proprement parler un instrument d'optique dans la mesure où ceux-ci réfèrent justement à des dispositif visant à voir mieux qu'avec l'oeil. Cependant il n'en reste pas moins un système capable au repos de faire une image nette d'un objet infini sur une rétine :

Montrer l'oeil

*Cette sous partie c'est pour rien faire dedans, mais si on fait lunette et Microscope, a chaque fois le montage se termine par un oeil, et c'est juste pour le présenter (dire qu'on l'a fait par auto collimation) que l'oeil c'est notre instrument d'optique de base !*

**Transition :** pour observer les étoiles et planètes de manière précise avec nos yeux, nous aimerions mettre au point un dispositif permettant de grossir des objet situés à l'infini (très loin)

## 2 Lunette astronomique

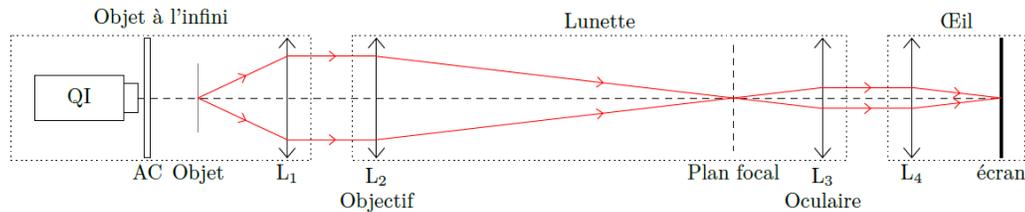


FIGURE 1 – *Schema de principe de la lunette astronomique (source TP) penser à dessiner la marche de rayons*

Présentation de la lunette.

### 2.1 Grossissement

Nous voulons caractériser le grossissement de la lunette :

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

Avec  $\theta$  l'angle d'entrée par rapport à l'axe optique et  $\theta'$  l'angle de sorti. On peut montrer que :

$$G = \frac{f'_o b_j}{f'_{occ}} = \frac{A'B'_{avec\ lunette}}{A'B'_{sans\ lunette}}$$

On mesure  $A'B'_{avec\ lunette}$  et  $A'B'_{sans\ lunette}$ . On en déduit un grossissement. On fait cela pour plusieurs focal de l'oculaire. On en déduit la focale de l'objectif.

## 2.2 Critère de Rayleigh

Le Duffait le fait pour la lunette alors mieux vaut le suivre peut être (quitte à faire les diaphragme sur le microscope)

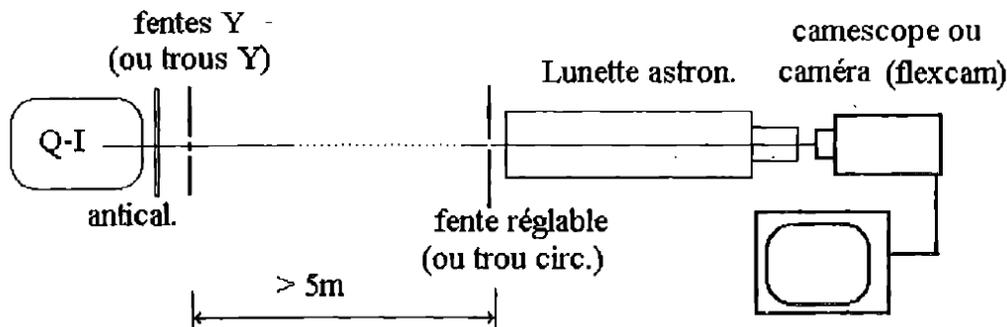


FIGURE 2 – Schema de principe de la mesure de la limite de rayleigh (source Duffait)

Principe : on met des fentes d'young très loin (c'est notre objet à l'infini) on vérifie que l'on voit dans notre lunette. On place ensuite une fente juste devant notre lunette, que l'on ferme jusqu'à voir disparaître les fentes d'young. C'est un critère historiquement à l'oeil donc c'est pas un problème de le faire à l'oeil ? Sinon caméra...

On a vu comment observer des objets infiniment loin. Pour les besoins de la science, on a aussi besoin d'observer l'infiniment petit : on va s'intéresser à un autre type d'instrument, le microscope. Dans un cas général, l'angle d'une tache de diffraction (tache d'Airy sphérique)lien :

$$\alpha = \frac{1.22\lambda}{D}$$

Quand on passe par une lentille (ici l'oeil), on a alors le rayon  $R$  :

$$\alpha = \frac{R}{f'} = \frac{1.22\lambda}{D}$$

On considère que l'on ne peut plus séparé les taches si la largeur à mis hauteur correspond à la distance entre les taches. De plus on considère que la largeur à mis hauteur correspond à la distance entre le centre et le pieds de la tâche.

## 3 Microscope

Déjà, le microscope c'est comme la lunette : on n'a pas envie de se fatiguer lorsqu'on regarde dedans. On fabrique un objet qui forme une image à l'infini, qu'on projette à l'aide de l'oeil fictif. On regarde des propriétés du microscope : sont donnés la puissance de l'oculaire et le grandissement de l'objectif (entre autres ouverture numérique, intervalle optique...). Lorsqu'on achète un microscope dans le commerce, on nous donne le grossissement commercial : le grossissement obtenu à 0.25 cm (au PP d'un oeil sain).

### 3.1 Grandissement et puissance voire sur le sextant pour le schéma

Puissance totale définie par le rapport de l'angle sous lequel on voit l'objet avec microscope par la taille de l'objet et s'exprime avec la puissance de l'oculaire et le grandissement de l'objectif :  $P_{tot} = P_{oc}\gamma_{obj}$ .

On monte le microscope : on mesure la taille de l'image sur l'oeil :  $A'B''$ , la position de l'image intermédiaire entre objectif et oculaire (à l'aide d'un écran) :  $A'B'$ , et la distance objectif-image intermédiaire :  $O_{obj}A'$ . On doit connaître la taille de l'objet  $AB$  On trace le grandissement  $\gamma_{obj} = \frac{A'B'}{AB}$  en fonction de  $O_{obj}A'$ . On a la formule :  $\gamma_{obj} = \frac{OA' - f'_{obj}}{f'_{obj}}$  donc le tracé de  $\gamma_{obj}$  en fonction de  $OA'$  donne une droite de pente  $1/f'_{obj}$ .

On en déduit l'intervalle optique  $\Delta = O_{\text{obj}}A' - f'_{\text{obj}}$ . On trace ensuite  $P_{\text{tot}}$  en fonction de  $\Delta$  :  $P_{\text{tot}} = P_{\text{oc}}\gamma_{\text{obj}}$ . On a  $P_{\text{oc}} = \frac{\text{angle de visée}}{A'B'}$ . L'angle de visée s'exprime à partir des propriétés connues de l'œil artificiel :  $P_{\text{oc}} = \frac{A'B''}{A'B' \times f'_{\text{œil}}}$ . Comme  $\gamma_{\text{obj}} = \frac{\Delta}{f'_{\text{obj}}}$ ,  $P_{\text{tot}} = \frac{\Delta}{f'_{\text{obj}}f'_{\text{oc}}}$  car  $\gamma_{\text{oc}}/f'_{\text{œil}} = 1/f'_{\text{oc}}$ .

**On a fait l'étude de plusieurs microscopes : on a fait varier  $\Delta$ .**

On vérifie la linéarité de  $P_{\text{tot}}$  avec  $\Delta$ . On retrouve les valeurs des focales de l'objectif et de l'oculaire.

On voit ici que la puissance du microscope est liée à son extension spatiale : évidemment, on va chercher à faire un compromis. Mais si on est limité en longueur, on est aussi limité en largeur (en dehors du critère de Rayleigh) : on va parler de diaphragmes.

## 3.2 Diaphragme de champ, d'ouverture et lentille de champ

### 3.2.1 Diaphragme de champ

**Définition** : diaphragme qui limite la zone visible de l'objet. Mise en évidence : placer un diaphragme juste avant l'oculaire, entre l'objectif et l'oculaire. On voit qu'on coupe l'objet.

### 3.2.2 Diaphragme d'ouverture

**Définition** : diaphragme qui limite la quantité de lumière qui passe à travers le microscope. Mise en évidence : placer un diaphragme juste après l'objectif, entre l'objectif et l'oculaire. On voit que l'image s'assombrit.

### 3.2.3 Lentille de champ

Lentille à placer à la place de l'image intermédiaire. On doit voir plus de l'image (éventuellement, placer l'image un peu sur le bord).

**Fin de la partie** : Le critère de Rayleigh limite aussi les microscopes. Dans un vraie microscope : doublets d'Amici pour réduire les aberrations, systèmes pour augmenter l'ouverture numérique, avoir aplanétisme...

## Conclusion

Les appareils optiques nécessitent un réglage précis et fin (exemple virgo). On est rapidement limité par plusieurs phénomènes : on a parlé du critère de Rayleigh, des diaphragmes d'ouverture et de champ, mais il y en a d'autres : les aberrations chromatiques et géométriques (coma, distorsion : barillet/coussinet, sphérique, astigmatisme, courbure de champ). On peut aussi essayer d'avoir une meilleure ouverture numérique, en limitant ces aberrations.

On n'a pas parlé des télescopes actuels qui sont plutôt formés de miroirs paraboliques. C'est ce qui fait la différence entre lunette et télescope.

## 4 matériel

Lunette

- Lampe QI avec filtre AC
- miroir semi et depoli
- Objet mesurable (Style lettre, bien mesurable)
- Fente d'young
- acromat de 120mm (pour source parallèle, objet à l'infini)
- 2 diaphragmes
- fente réglable
- Achromat de 400 et de 100 pour la lunette de présentation (100 est remplacé par 120,160,200,250,300)
- Achromat 300 pour l'œil
- écran
- noix et tiges
- miroir pour autocolimation.
- règles

Microscope

- QI et filtre anticalorique
- objet (facilement mesurable)
- achromat de 100mm pour objectif
- Achromat 200 mm objectif.
- oeil : écran barre noix lentille 300
- Grande tige (noix)
- écran escamotable
- 2 diaphragmes

## 5 Passage de Lucas le 10/05

### 5.1 Questions

**Ta définition d'instrument d'optique : "appareil permettant d'avoir accès à des images auxquelles on n'aurait pas accès à l'oeil nu". Tu veux préciser ? L'oeil est un instrument d'optique ?** Ca améliore l'oeil...

**Modèle de l'oeil ? Tu parles d'oeil sain ?** On voit net à l'infini sans accommoder. C'est la manière avec laquelle on aime regarder dans les instruments d'optique parce que ça fatigue moins.

**Accomoder, ça revient à faire quoi ?** Changer la focale, l'augmenter.

**Autre méthode de mesure de focale ?** Autocollimation, Badal, comparer taille de l'image et de l'objet.

**Est-ce qu'il y a différents types de lentilles ? Tu n'en as utilisé qu'un seul type.** J'ai utilisé des achromats, c'est des lentilles convergentes.

**C'est quoi une lentille convergente ?** Lentille bombée concave, qui forme un objet réel après la lentille.

**Du coup un achromat c'est quoi ?** Des lentilles qui permettent de minimiser les aberrations de l'optique géométrique (*les réponses sont celles faites par Lucas*).

**Justifier les incertitudes prises et leur estimation dans la méthode de Bessel.** Latitude de mise au point, position des lentilles sur les pieds.

**Comment sont calculées les incertitudes sur la valeur de focale obtenue ? Type A, type B ?** C'est fait avec les moindres carrés, ça se rapporte au type A.

**Faire une lentille plus compacte ? Avec 2 lentilles CV c'est assez grand...** On remplace l'objectif par une lentille DV, ça marche. On pourrait aussi faire l'inverse.

**C'est quoi un système afocal ?** Système optique qui envoie un objet de l'infini à l'infini.

**Comment justifier que la lunette est afocale ?** Soit parce que j'ai construit l'oeil et mis un objet à l'infini, soit on le voit en déplaçant la lunette.

**Incertitude sur le grossissement ?** Ça provient pas des focales, dont je suppose l'incertitude négligeable. Ça vient des mesures.

**Tu parles de grossissement ou grandissement ? C'est quoi la définition du grandissement ?**

**Le système optique lunette + oeil est focal ou afocal ? Comment tu me convaincs que c'est un système focal ?** Je ne peux plus définir d'angles pour exprimer un grossissement, je dois passer par le grandissement...

**Autres types de microscopies ?** Microscopie à force atomique, basé sur une mesure de courant et de position.

**2 points qui ne te paraissent pas corrects sur la reg lin : dis m'en plus ?** Pour moi ils sont aberrants, je ne les ai pas pris en compte lors de l'ajustement. Je n'ai pas pris ces 2 mesures précautionneusement. On peut identifier la source de l'erreur *NDLR* : *on peut le faire mais c'est très contextuel, je vais pas réexpliquer...*

**Faire un dessin de l'oeil et faire correspondre avec le modèle que tu utilises.** Cristallin, rétine, pupille.

**Préciser les distances ?** Focale du cristallin détendu, PP...

**Indices optiques dans l'oeil ?** Plus grand, dans l'oeil il y a un liquide (*NDLR* : *l'humour vitrée*) + le cristallin. L'indice du cristallin est plus grand que celui de l'air.

**Pourquoi tu vois flou quand tu as la tête sous l'eau ?** *NDLR* : *pour un milieu extérieur d'indice supérieur à l'air, le cristallin est moins efficace que si on était dans l'air (la vergence d'une lentille est liée à la différence d'indices...).* L'image se forme alors derrière la rétine et on voit flou.

**Limites de résolution en microscopie optique ?** Le critère de Rayleigh : on ne peut plus séparer les tâches de diffraction. L'objet diffractant est le contour des lentilles utilisées. Enoncer le critère de Rayleigh.

**Pourquoi avoir choisi des stries et pas une lettre ?** *NDLR* : *je trouve ça plus simple à mesurer...*

**Manip "un peu spéciale" selon les mots du correcteur : Reprendre les diaphragmes sur la lunette et regarder ce que ça donne sur le microscope. Possibilité de mettre une lentille de champ ?** Globalement ça marche pareil, on peut mettre une lentille de champ sur l'objet intermédiaire, mais ça change l'effet du diaphragme de champ.

## 5.2 Commentaires

*De Sylvio : écrire les tailles réelles des objets au tableau.*

Partie montage : très bien, tu as bien manipulé devant le jury. Les problèmes sont plutôt sur la forme.

Le tableau est propre. La première partie n'est pas la plus intéressante mais elle permet d'aborder le sujet et fait une manip quantitative. Bien sur la lunette, diaphragme d'ouverture et de champ, lentille de champ en direct : très bien, ça montre que tu sais manipuler et que t'as pas peur de toucher à tout. Pour la dernière manip, tu avais moins de temps. La façon de le découper est assez curieuse, peut-être à revoir ? *NDLR : non.* J'avais jamais vu ça présenté comme ça. *Lucas : j'étais pris par le temps, je suis d'accord que c'était pas clair.* C'était assez ambitieux mais tu t'en es bien sorti. Il est possible d'utiliser des lentilles divergentes pour changer un peu. D'un point de vue fond, il y a tout, voire plus que ce que j'attendais.

Sur la forme : je suis pas trop d'accord avec ta définition de système optique. (*Elle vient du Duffait pourtant.*) Pour moi c'est un objet qui a des rayons en entrée et en sortie. Un truc bizarre sur les incertitudes au début, tu as dit " $209 \pm 30$ ", c'est pas possible car le 9 est plus précis. *Lucas : je l'ai dit parce que c'est ce que j'ai lu mais bien sur que après j'ai écrit  $21 \pm 3$ .* En fait il vaut mieux préciser pourquoi tu n'écris pas la chose que tu as dite. Tu as dit que tu calculais un grossissement dans la lunette : c'est un grandissement parce que c'est afocal. Les 2 coïncident car tu as rajouté l'oeil, qui permet de dire que grossissement = grandissement. Éviter de dire "lentille de 20, de 30". En plus il faut préciser l'unité, et dire que ce sont des lentilles convergentes. Critère lentille CV ou DV : où va le faisceau qui vient de l'infini (de quel côté). Il faut faire attention à l'orientation des distances : le grossissement que tu donnes est en fait sa valeur absolue car l'image est inversé. Sur le sens des bancs : il faut que le jury puisse voir les graduations. Ne regarde pas trop le tableau quand tu expliques des choses. Tu peux peut-être enlever un banc d'optique parce que ça fait beaucoup de matériel, mais c'est pas facile en préparation. Faut voir sur la lunette. Ne dis pas que tu as pas bien fait tes points en préparation, il ne faut pas dire "j'ai mal manipulé". Limites de résolution du microscope : impossible de résoudre 2 objets trop proches. Condition de diffraction :  $\lambda >$  taille de l'objet. Attention : les achromats réduisent les aberrations chromatiques!!!