

Montage 7 : Instruments d'optique

Lara GARDETTE – Delphine GEYER

*« Viser la lune, ça me fait pas peur. »
Amel BENT*

Commentaires extraits des rapports de jury :

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.

Bibliographie : [1] *Les instruments d'optique*, Detwiller
[2] *Optique*, Houard
[3] Sextant
[4] Duffait

I – La lunette astronomique

- 1) Le principe
- 2) Mesure du grossissement
- 3) Ouverture et champ
- 4) Limite de résolution

II – L'objectif photographique

- 1) Le principe
- 2) Ouverture numérique
- 3) Profondeur de champ

Introduction :

Les instruments d'optique sont des associations de systèmes optiques qui ont pour but de former et d'utiliser une image. On en distingue deux classes :

- Les objectifs qui forment l'image sur un écran de projection. On peut citer l'objectif photographique ou le rétroprojecteur
- Les visuels qui forment l'image sur la rétine de l'œil de l'observateur. On peut citer les jumelles ou les lunettes astronomiques. Ceux-ci permettent de dépasser les limites de sensibilité et de résolution de l'œil.

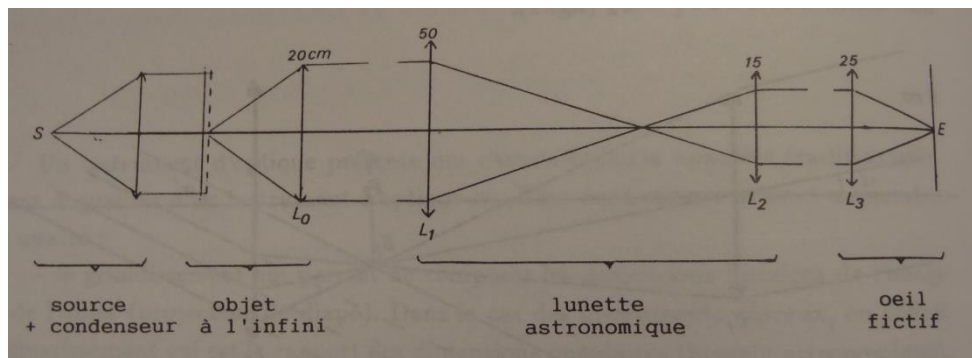
Pour ces deux familles, on caractérise un instrument par son changement d'échelle, sa précision, sa luminosité et son champ.

On va donc, dans ce montage, illustrer expérimentalement ces différentes caractéristiques et certaines limitations au travers d'une lunette astronomique et d'un objectif photographique.

I – La lunette astronomique

1) Le principe

La lunette astronomique permet l'observation d'objets très éloignés : elle doit donner une image à l'infini si l'on veut que l'œil n'ait pas besoin d'accommoder. C'est donc un instrument afocal ($F'_{\text{obj}} = F_{\text{oc}}$).



Objet : Quadrillage dans le plan focal d'une lentille convergente de focale 250 mm (réglé par autocollimation) placé contre un papier diffusant pour avoir un faisceau très ouvert et supprimer l'image du filament. Pour le choix de la focale il faut un compromis entre encombrement et champ.

Œil : Ecran (rétine) dans le plan focal d'une lentille convergente L3 (cristallin) de focale 300 mm pour visualiser à l'infini. On place la lentille au niveau du cercle oculaire donc le diamètre n'a pas d'importance

Lunette : Constituée de deux lentilles convergentes. Objectif : L1 de focale 400 mm, grande focale pour grossissement et grande monture pour avoir la luminosité maximale. Oculaire : L2 de focale 120 mm, il faut une petite focale par rapport à celle de l'objectif. Monture assez

grande pour ne pas trop diaphragmer mais pas trop grande pour pouvoir mettre en évidence le champ de contour.

Transition : Connaissant maintenant le principe de cet instrument, on va s'intéresser à la caractéristique qui semble être la plus importante pour une lunette astronomique, c'est-à-dire le grossissement.

2) Le grossissement

Il s'agit du rapport de la taille de l'image à travers l'instrument et de celle à l'œil nu. Il varie entre -10 et -3000 en pratique. L'image est renversée.

$$|G| = \frac{f_{obj}}{f_{occ}} = \frac{x'}{x}$$

Manip 1 : Vérification de la formule du grossissement

Calculer le grossissement en mesurant la taille de l'image avec et sans l'instrument pour différentes focales de l'objectif. Faire un seul point en direct. Faire une régression linéaire : on doit retrouver une pente de 1.

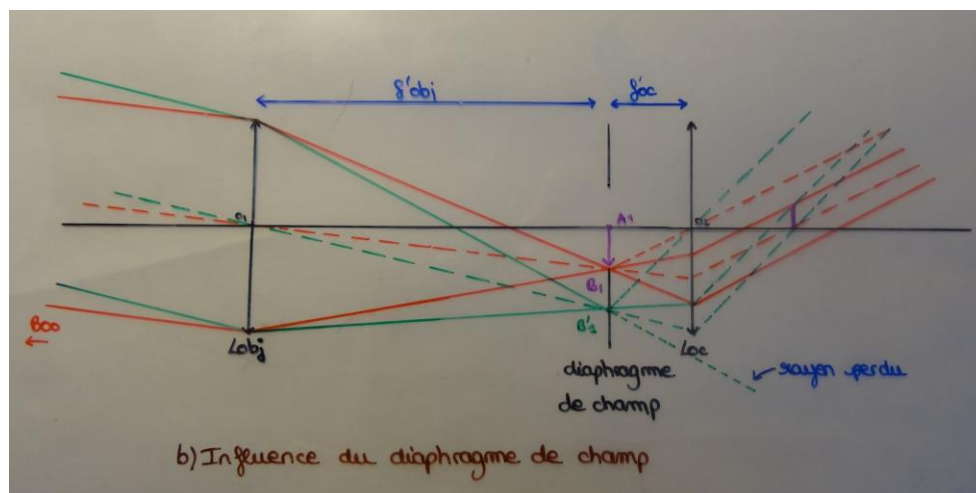
$$\text{Incertitudes : } \frac{\Delta G}{G} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x'}{x'}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2}$$

Transition : Le grossissement est certes très important, mais il ne suffit pas à résumer les qualités d'un instrument optique, il faut prendre en compte d'autres caractéristiques.

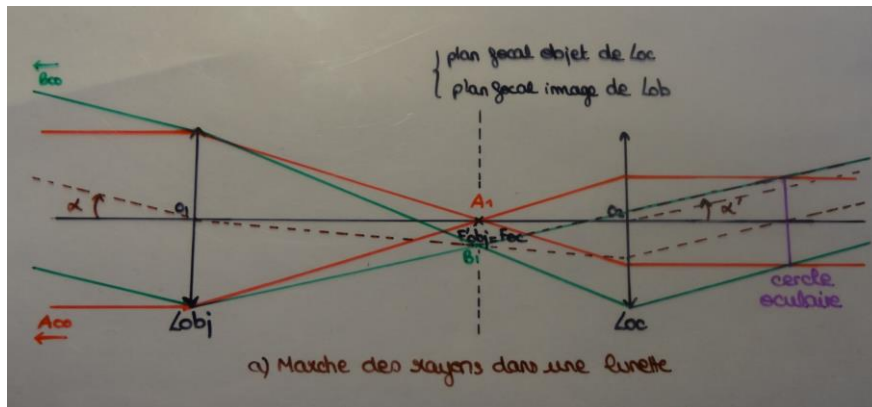
3) Ouverture et champ

D1 = diaphragme d'ouverture qui contrôle la luminosité. Conjugué des pupilles d'entrée et de sortie. On le place devant l'objectif.

D2 = diaphragme de champ qui contrôle la portion visible de l'objet. Conjugué des lucarnes d'entrée et de sortie. On le place dans le plan intermédiaire. Permet également d'enlever le champ de contour.



Cercle oculaire = tâche de diamètre minimal à partir de l'oculaire. C'est là où on récupère le maximum de lumière.



Manip 2 : Autre manière de calculer le grossissement

Vérifier que G est le rapport du diamètre du diaphragme d'ouverture et de celui du cercle oculaire.

Verre de champ : lentille de grand diamètre placée dans le plan intermédiaire pour agrandir le champ. Sa focale doit être de l'ordre de celle de l'oculaire. Permet aussi d'enlever le champ de contour. (Attention à bien se placer au niveau du cercle oculaire)

Parler des aberrations chromatiques et géométriques possibles si les lentilles utilisées ne sont pas de bonne qualité.

Transition : On a vu comment améliorer la qualité de notre observation mais existe-t-il des limitations à celle-ci ?

4) Limite de résolution (Duffait page 109)

Deux phénomènes font perdre en précision :

- Perte de résolution par diffraction : critère de Rayleigh
- Limite due à la taille des pixels du récepteur (capteur ou œil)

La diffraction d'étoiles proches peut être observée par la monture de la lunette.

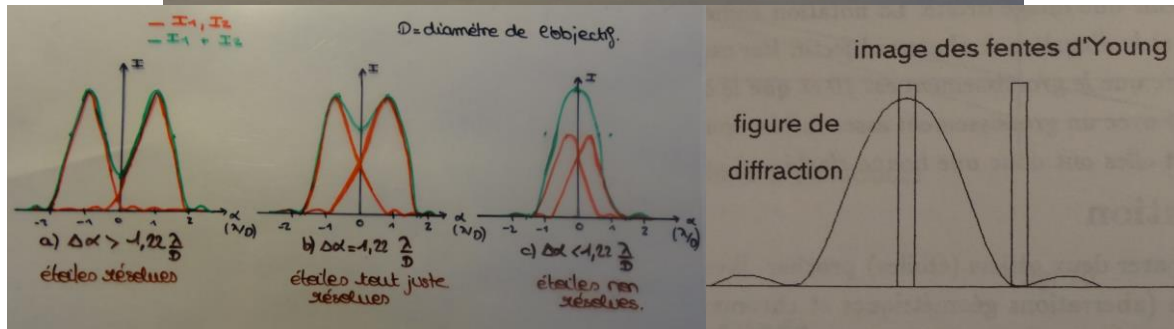
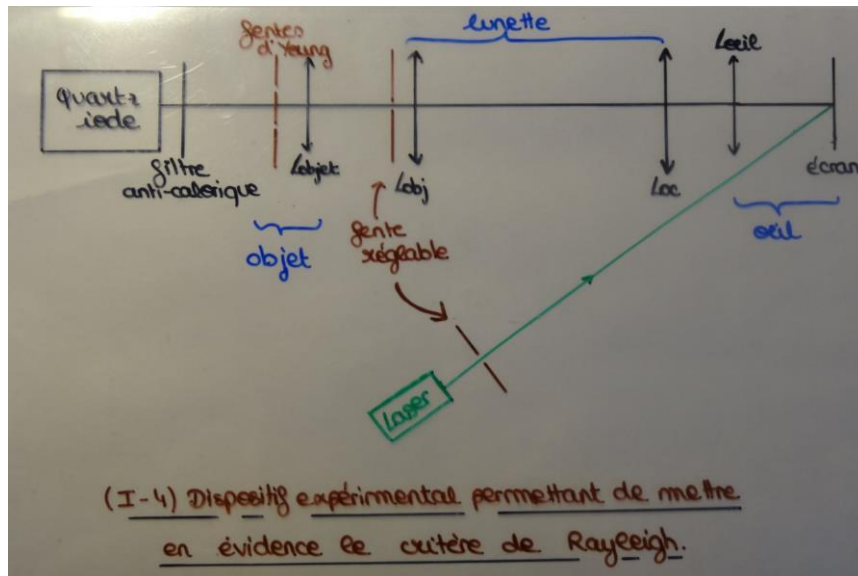
Critère de Rayleigh : deux points peuvent être discernables si leur distance est supérieure à la demi-largeur de la tâche de diffraction associée.

Manip 3 : Mise en évidence du critère de Rayleigh.

Objet = bi-fente de séparation connue (1 mm ici). On commence par faire l'image de cet objet en lumière blanche. A côté on pointe un laser (vert pour une meilleure vision) sur l'image de l'une des fentes (on peut utiliser deux polariseurs pour atténuer le faisceau).

On place une fente diffractante devant l'objectif pour modéliser des objets de séparation angulaire moindre. En masquant le laser dans un premier temps, on ferme la fente diffractante jusqu'à ne plus pouvoir discerner les deux fentes. On place ensuite cette même fente, sans toucher à son écartement, devant le laser. On peut alors observer l'image des fentes superposée avec la figure de diffraction.

On remarque alors que le premier zéro de la figure de diffraction est au niveau de la deuxième fente : on vérifie le critère de Rayleigh.

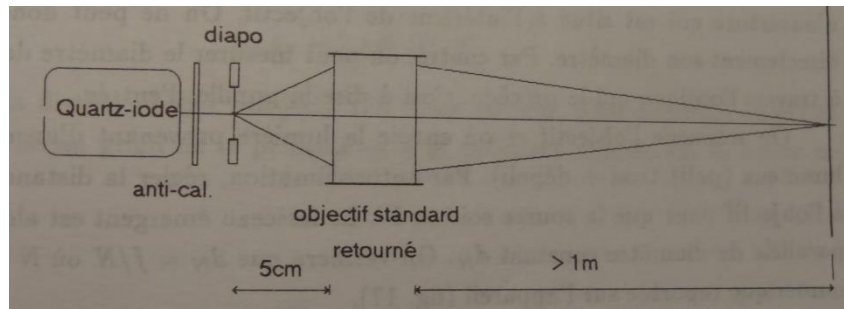


Transition : On a étudié un modèle d'un instrument très important historiquement permettant de voir des objets lointains. On va maintenant s'intéresser à un instrument utilisé au quotidien, sous sa forme commerciale : l'objectif photographique

II – L'objectif photographique

1) Le principe

Un appareil photo est composé d'un objectif (analogue de la pupille pour l'œil), d'un diaphragme (analogue du cristallin), d'un obturateur (analogue de la paupière) qui règle la durée de la pose et d'une plaque sensible où s'enregistre l'éclairement.



Transition : On va maintenant s'intéresser à une caractéristique pertinente pour cet instrument, il s'agit de l'ouverture numérique.

2) Ouverture numérique (Sextant page 34)

Un objectif photographique possède un diaphragme d'ouverture gradué en nombre d'ouverture. Ce nombre d'ouverture est défini comme : $N = \frac{f'}{D}$ où D est le diamètre du diaphragme présent dans l'objectif et f' la distance focale. Plus ce nombre est grand, plus le diaphragme est fermé. Pour passer d'un nombre d'ouverture au suivant, on multiplie par $\sqrt{2}$, ce qui divise par 2 la surface du diaphragme d'ouverture et donc également par 2 l'éclairement dans le plan image.

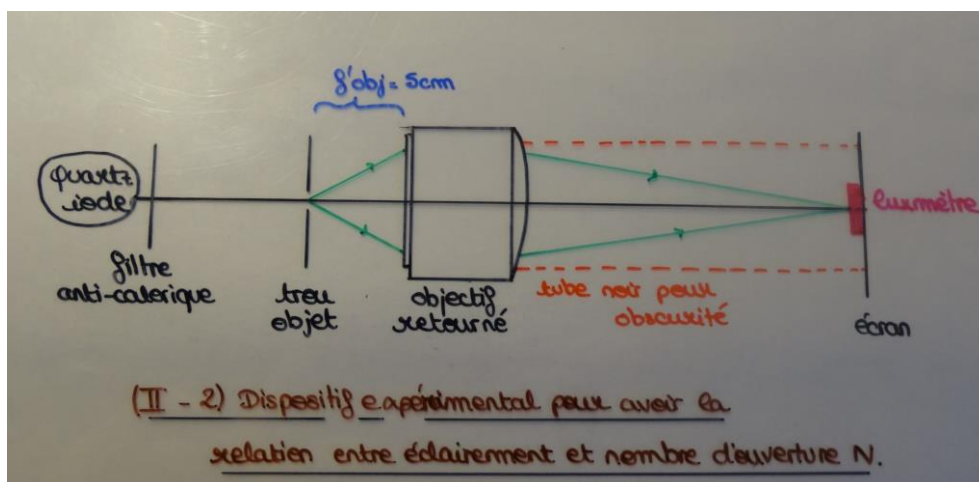
(la formule se démontre à partir de la relation des sinus d'Abbe, voir le Detwiller)

Manip 4 : Relation entre éclairement et nombre d'ouverture

On inverse l'objectif pour être plus précis et plus démonstratif car le grandissement est petit.

On mesure une intensité au luxmètre, car $I = f(\frac{1}{n^2})$, pour différents N (on le règle sur l'objectif). On place un tube noir pour éviter tout fond lumineux. Il est important de placer le luxmètre à l'image de l'objet (diaphragme), car cela permet de s'affranchir de la taille du faisceau.

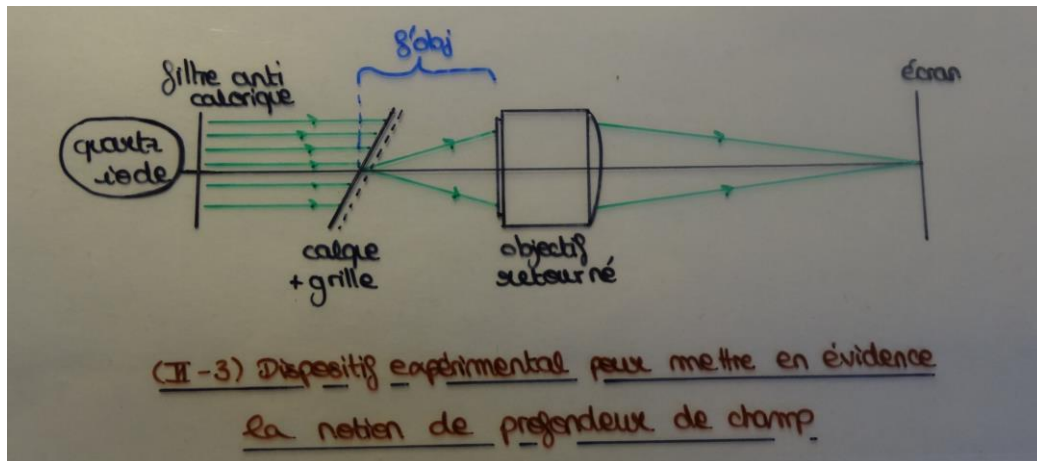
(Si on veut vérifier N on met un trou et un dépoli à la distance focale de l'objectif retourné : le faisceau émergent est alors théoriquement parallèle et donc de diamètre constant $d_n = \frac{f}{n}$. En pratique il est difficile d'avoir un faisceau vraiment parallèle).



L'erreur sur l'intensité est donnée par le constructeur : elle est de $\pm 3\%$. Pour ce qui est du nombre d'ouverture, on considère que la valeur donnée par le constructeur de l'objectif est fiable.

Transition : Une autre caractéristique importante, lorsque l'on souhaite prendre une photo est la profondeur de champ, qui est reliée au nombre d'ouverture.

3) Profondeur de champ (Sextant page 35)



La profondeur de champ est la distance qui sépare deux points extrêmes de l'axe optique dont les images sont vues avec une netteté suffisante. Elle est d'autant plus grande que le diaphragme est petit

Manip 5 : Mise en évidence de la profondeur de champ

On fait l'image d'une grille. On incline cette grille et on remarque que seuls les carreaux du centre sont nets. On place ensuite un diaphragme devant l'objectif, cela diminue la luminosité mais améliore la netteté. On peut vérifier que le nombre de traits vus nets sur l'écran est une fonction croissante du nombre d'ouverture.

Conclusion :

On a étudié deux instruments d'optique différents. On a pu ainsi mettre en évidence certaines de leurs caractéristiques comme le changement d'échelle, la luminosité et le champ. On a également pu aborder certaines limitations comme la résolution et les aberrations, ce qui amène parfois à faire des compromis.

Il existe une troisième famille d'instruments qui n'a pas été abordée dans ce montage : il s'agit des instruments qui ont pour unique but de transporter de la lumière. On peut citer les phares côtiers et les catadioptriques.