

# Lunette astronomique et appareil photo

## NOM :

But du TP : Fabriquer des modèles d'une lunette astronomique, d'un objectif d'appareil photographique, en étudiant différents points.

Compétences exigibles :

- Modéliser expérimentalement à l'aide de plusieurs lentilles un dispositif optique d'utilisation courante.
- Choisir une ou plusieurs lentilles en fonction des contraintes expérimentales, et choisir leur focale de façon raisonnée.
- Étudier l'influence de la focale, de la durée d'exposition, du diaphragme sur la formation des images.

Bilan

|           | S'APPROPRIER | ANALYSER/RAISONNER | REALISER                   | VALIDER | COMMUNIQUER |
|-----------|--------------|--------------------|----------------------------|---------|-------------|
| Questions |              | Q1-Q2-Q3-Q12-Q13   | Q5-Q6-Q7-Q8-Q9-Q10-Q14-Q15 | Q4      | Tout        |
| Notes     |              |                    |                            |         |             |

Note finale :

## I. La lunette astronomique

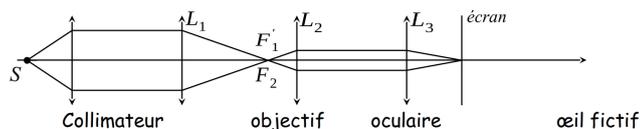
### 1. Généralités

La lunette astronomique est un instrument d'optique facilitant l'observation d'objets situés à de très grandes distances, il est associé à l'œil et donne de l'objet réel source une image virtuelle, on dit que c'est un instrument subjectif : l'image virtuelle est renversée et examinée par l'œil grâce à sa faculté d'accommodation.

Sa caractéristique essentielle est son grossissement  $G = \alpha'/\alpha$  si  $\alpha$  est l'angle sous lequel on voit un objet à l'œil nu et  $\alpha'$  l'angle sous lequel on voit ce même objet à travers l'instrument.

### 2. Constitution

Une lunette astronomique est constituée d'un objectif convergent, de faible ouverture et de grande distance focale ainsi que d'un oculaire convergent de faible distance focale, choisi de façon à fournir un grossissement optimal. Nous modéliserons l'objectif par une unique lentille mince  $L_1$  convergente de distance focale  $f'_1$  et l'oculaire par une unique lentille mince  $L_2$  convergente de distance focale  $f'_2$ .



Q1 🏠 Montrer que lorsque la lunette est afocale on a  $G = -f'_1/f'_2$ . Faire un schéma en traçant le cheminement d'un rayon lumineux incliné d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'axe optique.

- L'objet que l'on observe à travers une lunette est à l'infini, on le simulera par un collimateur, ce système est constitué d'une grille placée dans le plan focal objet d'une lentille convergente, l'ensemble étant placé dans un tube en plastique de longueur variable pour assurer le réglage.

- L'œil observant l'objet à travers la lunette sans accommoder est réalisé en associant une lentille convergente  $L_3$  jouant le rôle du cristallin et d'un écran  $E$  jouant le rôle de la rétine.

Q2 🏠 : Pourquoi règle-t-on la lunette de manière afocale ?

### 3. Les différents diaphragmes

#### a. Champ

Le champ d'un instrument est la portion de l'espace vue à travers cet instrument. Le champ en largeur ou champ transversal est la partie de l'espace perpendiculaire à l'axe optique que l'on peut voir à travers l'instrument.

### b. Diaphragme d'ouverture

Si  $A$  est un point de l'axe optique d'un système centré et  $A'$  son conjugué par le système, tous les rayons lumineux émis par  $A$  ne parviennent pas en  $A'$  car une partie d'entre eux est arrêtée à l'intérieur du système optique. Seul un faisceau d'angle d'ouverture maximal  $u_o$  parviendra en  $A'$  : c'est le faisceau utile. Le faisceau utile est donc le faisceau passant à travers tous les diaphragmes du système et limité par un seul d'entre eux appelé diaphragme d'ouverture.

### c. Diaphragme de champ

**Définition** : L'objet observé n'est pas ponctuel et possède une dimension transversale, considérons le cas d'un objet linéaire  $AB$ . Si le point  $B$  est trop loin de l'axe, une partie de la lumière qu'il émet sera arrêtée par un diaphragme de l'instrument auquel on donne le nom de diaphragme de champ.

### d. Cas de la lunette

**Cercle oculaire** : Le cercle oculaire est défini comme l'image de l'objectif par l'oculaire : c'est l'endroit où il faut placer l'œil pour qu'il reçoive le maximum de lumière. Pour une lunette c'est l'objectif qui joue le rôle de diaphragme d'ouverture à condition que l'œil ne diaphragme pas lui-même, ce que l'on réalise en positionnant l'œil au cercle oculaire.

En notant  $R$  le rayon de l'objectif, le rayon du cercle oculaire est donné par :  $R_{oc} = R/G$ . L'œil ne diaphragme pas si  $R_{oc} < \rho$ , rayon de la pupille de l'œil.

**Champ** : Pour une lunette c'est l'oculaire qui joue le rôle de diaphragme de champ. La partie visible par la lunette afocale peut être caractérisée par l'angle  $\theta_{\text{champ}}$  donnant le champ angulaire visible par l'instrument. On montre que  $\theta_{\text{champ}} = 2R_c/f'_1$  avec  $R_c$  le rayon de l'oculaire. On note que  $\theta_{\text{champ}}$  est faible pour des objectifs de grande distance focale. C'est pourquoi on adjoint une lunette chercheuse de plus grand champ aux lunettes astronomiques.

**Résolution** : Pour un instrument tel que la lunette, la résolution angulaire est le plus petit diamètre apparent décelable par l'instrument, elle caractérise donc l'aptitude de la lunette à séparer angulairement deux points. Lorsque celle-ci n'est limitée que par la diffraction, on montre qu'elle est donnée par  $\Delta\theta = 0,3\lambda/R$  où  $\lambda$  est la longueur d'onde de la lumière observée.

**Q3**  Quels intérêts y aurait-il à accroître le diamètre de l'objectif? Pourquoi ne donne-t-on pas aux objectifs de très grands diamètres?

## 4. Partie expérimentale

### a. Réalisation de la lunette

On prendra  $f'_1 = 500$  mm,  $f'_2 = 200$  mm. Régler les éléments du montage dans l'ordre suivant : lunette auxiliaire réglée à l'infini, collimateur seul, œil fictif à l'aide du collimateur, lunette astronomique. On doit obtenir une image nette sur l'écran.

### b. Observation des champs

#### Diaphragme d'ouverture

**Q4** En plaçant un diaphragme à iris (ouverture variable) contre l'objectif  $L_1$ , observer son influence sur l'image en diminuant progressivement son ouverture. Déterminer la position du cercle oculaire en promenant une feuille de papier le long du faisceau lumineux, est-ce en accord avec la théorie?

#### Diaphragme de champ

En plaçant un diaphragme à iris (ouverture variable) contre l'oculaire  $L_2$ , observer son influence sur l'image en diminuant progressivement son ouverture. Chercher la position de l'image intermédiaire (de l'objet à l'infini par l'objectif) et placer dans ce plan un diaphragme à iris. Montrer qu'il est alors possible d'obtenir une image sans bord flou.

Enlever le diaphragme du plan de l'image intermédiaire et y placer une lentille mince convergente de focale  $f' \simeq 20$  cm, c'est un verre de champ qui augmente le champ sans affecter le grossissement.

**Q5** Constater son effet et expliquer à l'aide d'un schéma.

### c. Mesure du grossissement

#### Mesure par la taille de l'image

Q6 Mesurer la taille de l'image sur l'écran avec et sans lunette et en déduire une mesure du grossissement  $G$ .

#### Mesure par le cercle oculaire

Q7 Mesurer les diamètres du cercle oculaire et de l'objectif et en déduire une mesure du grossissement  $G$ , on pourra placer un diaphragme contre l'objectif.

#### Mesure par le grandissement

Q8 Remplacer le collimateur par un objet (plaque percée d'un F) et l'œil fictif par un écran seul. Déplacer l'objet et faire trois mesures du grandissement. Montrer que  $\gamma$  est constant et que  $\gamma \times G = 1$ , en déduire une mesure du grossissement  $G$ .

## II. Objectif d'appareil photographique

Un objectif photographique est un système optique convergent formé de plusieurs lentilles, donnant des images réelles sur la surface sensible de l'appareil photographique.

Au cours de l'étude qui suit, on cherche à définir l'influence qualitative de différents objectifs sur la taille de l'image et sa mise au point. L'objectif de l'appareil photo est modélisé par une lentille de vergence  $V = 1/f'$  et la surface sensible par un écran blanc. L'objet est constitué d'un « 1 » lumineux ou de la lettre L. Objet, lentille et écran sont placés sur un banc d'optique gradué.

### 1. Mise au point à distance focale fixée

- Réaliser le montage précédent sur le banc optique ( $f' = 20$  cm) en ajoutant un objet (forme de « 1 ») pour commencer à 100 cm devant la lentille. Placez l'écran de telle sorte que l'image de l'objet soit nette sur l'écran.

- Rapprocher alors l'ensemble {objet + lampe} (sans bouger l'ensemble lentille + écran) de telle sorte que l'objet soit maintenant à 50 cm devant la lentille.

Q9 L'image de l'objet sur l'écran est-elle toujours nette ?

Q10 : Dans le cas où la modélisation précédente correspond à celle d'un appareil photo de distance focale fixée, réaliser la mise au point, autrement dit rétablir une image nette de l'objet sur l'écran. Quel élément avez-vous modifié et dans quel sens ? Quelle différence aurait-on eu avec un œil qui doit accommoder ?

### 2. Latitude de mise au point

On se place toujours dans la situation où l'objet (le « 1 ») est à 50 cm de l'objectif. Un diaphragme est placé contre la lentille. Seul l'écran est mobile.

- Relever les positions extrêmes de l'écran pour lesquelles l'image reste nette sur la « pellicule », le diaphragme étant ouvert au maximum.
- Se placer pour commencer à la limite de netteté dans l'expérience précédente, le diaphragme étant ouvert au maximum. Diaphragmer davantage (par exemple changer  $D$  en  $D/3$  environ).

Q11 Observation ? Relever alors à nouveau les positions extrêmes de l'écran pour lesquelles l'image reste nette. Conclure.

### 3. Champ angulaire

La pellicule est de dimension finie (par exemple 24 mm X 36 mm ). La mise au point est faite sur un point objet  $A$  (grille ici) de l'axe à distance  $d$  donnée de l'objectif.

Q12 : Par un schéma adapté montrer que si le point objet  $B$  est trop loin de l'axe, son image ne peut pas se former sur la pellicule. En déduire que le point  $B$  doit se trouver dans un cône de demi-angle au sommet  $\alpha$  à déterminer en fonction de  $a$  (taille maximale de la pellicule),  $d$  et  $f'$ . Comment varie ce champ en fonction de la distance focale  $f'$  ?

On suppose que la taille de la pellicule correspond à un carré de 1 cm X 1 cm sur l'écran. Vérifier le comportement du champ angulaire en fonction de la distance focale pour un objet placé à 50 cm de l'objectif. On prendra  $f' = 20$  cm puis  $f' = 10$  cm.

### 4. Profondeur de champ

Pour un appareil photographique, la profondeur de champ correspond à la zone de l'espace dans laquelle doit se trouver le sujet à photographier pour que l'on puisse en obtenir une image que l'œil (ou un autre système optique) acceptera comme nette. Plus la profondeur de champ est étendue, plus elle intègre le sujet dans son environnement : l'image est entièrement nette. Au contraire, plus elle est courte, plus elle isole le sujet : ses plans avant et arrière seront flous.

Q13 Laquelle de ces deux photos a été prise avec une grande profondeur de champ ?



#### a. Influence de la distance focale

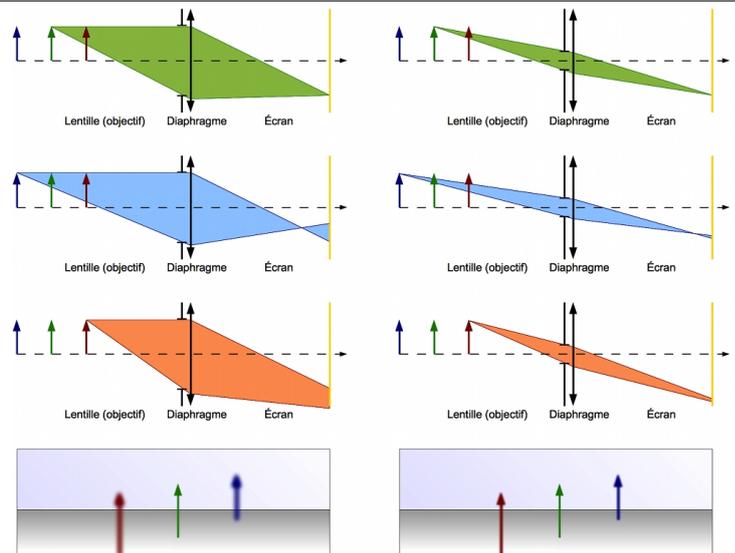
On reprend un objet (le « 1 ») à 50 cm de l'objectif de focale  $f' = 20$  cm et on place l'écran de telle sorte que l'image de l'objet soit nette sur l'écran. On utilisera successivement les focales  $f' = 20$  cm et  $f' = 10$  cm. Mesurer la profondeur de champ  $\delta$  c'est à dire la distance entre les deux positions extrêmes de l'objet pour lesquelles l'image reste nette, sans modifier la distance lentille-écran. Recommencer pour la focale  $f' = 10$  cm.

Q14 Comment varie la profondeur de champ ?

#### b. Influence du diaphragme

On reprend un objet à 50 cm de l'objectif de focale  $f' = 20$  cm et on place l'écran de telle sorte que l'image de l'objet soit nette sur l'écran. La distance objectif-écran reste encore fixe dans cette série de manipulations. Modifier le diaphragme (par exemple diaphragmer à  $D/3$  environ).

Q15 : Comment varie la profondeur de champ ?



Complément : Construction géométrique de la profondeur de champ d'un appareil photographique