

Quelques éléments d'optique (enseignement de spécialité - Terminale)

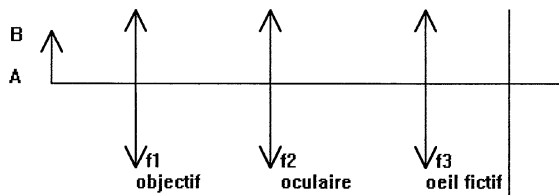
par J.-P. MARAIS
Lycée de l'Image et du Son
16000 Angoulême

Dans ce document les points suivants sont abordés :

- le microscope,
- la lunette,
- le téléobjectif,
- quelques expériences sur les aberrations (pour cette partie les expériences sur banc optique T.P. élèves peuvent être réalisées mais généralement la mise en évidence est de qualité moyenne à médiocre, ceci s'explique par le fait que les lentilles utilisées (diamètre 40 mm) s'approchent plus ou moins des conditions de l'approximation de Gauss.

1. LE MICROSCOPE

1.1. Montage (sur banc optique)



Valeurs utilisées : $f_1 = 10$ cm, $f_2 = 25$ cm et $f_3 = 20$ cm.

On utilise un quadrillage de pas 3 mm comme objet, il est tracé sur papier calque et monté sur une diapositive.

- Placer l'objectif (à une distance de l'objet supérieure à la distance focale).
- On peut recevoir l'image donnée par l'objectif sur un écran.
- Supprimer l'écran placer l'oculaire à une distance f_2 de l'image intermédiaire, ainsi l'image donnée par le dispositif est à l'infini.

– Placer finalement l'œil fictif (lentille de distance focale f_3), l'image donnée par l'oculaire étant à l'infini, l'image finale se formera dans le plan focal image de l'œil, c'est-à-dire la rétine constituée par l'écran.

1.2. MESURE DE QUELQUES GRANDEURS

1.2.1. Grandissement de l'objectif

$$\gamma_{\text{obj}} = \frac{O_1 A_1}{O_1 A}$$

On trouve : $\gamma = 39/13 = 3$

1.2.2. Puissance de l'oculaire

$$P_{\text{oc}} = \frac{\alpha'}{A_1 B_1} \quad \alpha' = \frac{A_3 B_3}{f_3} \quad (\text{dans l'œil fictif})$$

$A_3 B_3$ est la dimension sur la rétine (l'écran) du pas du quadrillage utilisé, f_3 est la distance focale de l'œil fictif, l'angle α' est l'angle sous lequel l'œil observe le pas du quadrillage.

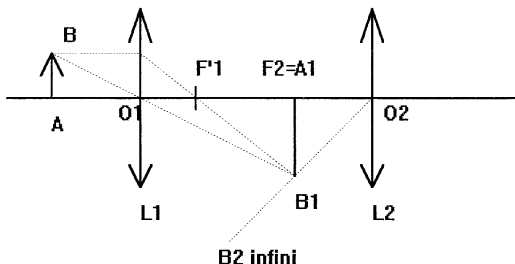
$$\alpha' = 0,7/20 = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$$

$$A_1 B_1 = 3 * 3 = 9 \text{ mm (à calculer ou à mesurer)}$$

On aura $P_{\text{oc}} = 35/9 = 4$ environ.

CONSTRUCTION

Si l'image intermédiaire donnée par l'objectif est confondue avec le foyer objet de l'oculaire (vision à l'infini pour un œil normal, sans accommodation), on a :



L'angle α' est très peu différent de $\frac{A_1 B_1}{f_2}$, ainsi la puissance de l'oculaire sera égale à $\frac{1}{f_2}$.

Dans le cas étudié $P_{oc} = 4$.

Dans ce cas la puissance de l'oculaire est appelée puissance intrinsèque car elle ne dépend que de l'oculaire et non pas de l'observateur.

1.2.3. Puissance du microscope

Puissance du microscope = grandissement de l'objectif puissance de l'oculaire.

$$\text{En effet : } P = \frac{\alpha'}{AB} = \frac{\alpha'}{A_1 B_1} \cdot \frac{A_1 B_1}{AB} = P_{oc} \cdot \gamma_{obj}$$

dans le cas étudié $P = 12$.

Si la puissance de l'oculaire est la puissance intrinsèque, on peut parler de la puissance intrinsèque du microscope.

1.2.4. Grossissement du microscope

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\alpha'}{AB} \cdot \frac{AB}{\alpha} = P \cdot d$$

Si P est la puissance intrinsèque du microscope et d la distance minimale de vision distincte (d environ 25 cm = 0,25 m), alors le grossissement est appelé grossissement commercial.

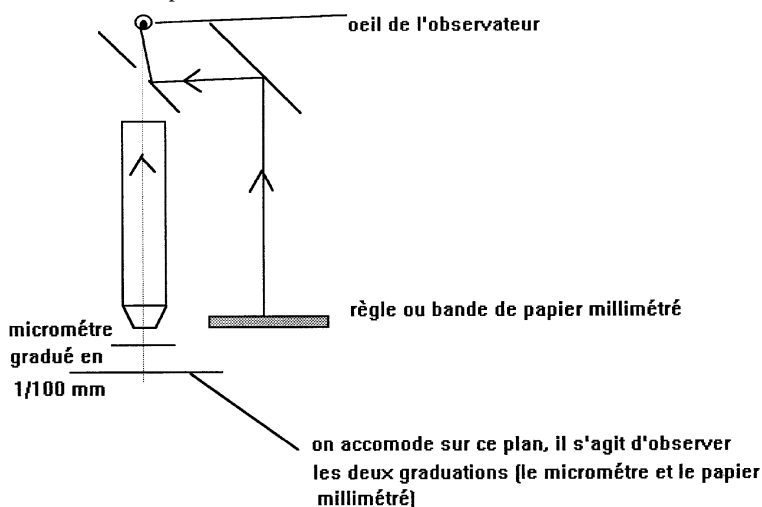
La puissance du microscope est $P = P_{oc} \cdot \gamma_{obj}$ donc :

$$G = \frac{P_{oc} \cdot \gamma_{obj}}{4} = G_{oc} \cdot \gamma_{obj}$$

Dans notre cas (banc optique) $G = 3$.

1.3. GROSSISSEMENT D'UN MICROSCOPE RÉEL

Cette manipulation nécessite une chambre claire et un micromètre.



MANIPULATION

- Régler la lampe.
- Commencer par l'objectif le plus faible ou intermédiaire.
- Placer le micromètre sur la platine.
- Approcher l'objectif du micromètre, ne pas le mettre au contact de l'objet observé, la chambre claire n'est pas utilisée.
- Faire la mise au point en remontant l'objectif. Utiliser la grosse vis de mise au point de la crémaillère, ensuite utiliser la petite vis pour améliorer la mise au point.
- Pour un objectif et un oculaire donnés, installer la chambre claire, il s'agit d'observer les deux images (réglages : le flux lumineux, la position du papier millimétré).
- En observant les deux images, essayer de repérer des coïncidences.

Exemple : une graduation du micromètre (0,01 mm) correspond à une graduation du papier millimétré (1 mm).

$$G = 1/0,01 = 100$$

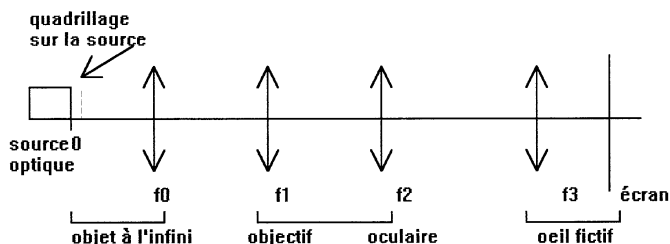
- Tester les différentes possibilités selon le matériel. Comparer chaque fois avec le calcul classique consistant à multiplier le grandissement de l'objectif par le grossissement de l'oculaire.

Dans le cas précédent $G = 10 \cdot 10 = 100$.

2. LA LUNETTE ASTRONOMIQUE

2.1. Montage

On considère la lunette comme un système afocal, l'image donnée par l'objectif est située au foyer objet de l'oculaire, ainsi l'image donnée par l'oculaire est à l'infini, de telle manière à ce que l'œil de l'observateur n'accomode pas.



La quadrillage a pour pas 3 mm il est tracé sur du papier calque et monté sur une diapositive valeurs utilisées :

$$f_0 = 20 \text{ cm}, f_1 = 25 \text{ cm}, f_2 = 10 \text{ cm et } f_3 = 20 \text{ cm}.$$

- Placer le quadrillage sur la source.
- Réaliser un objet à l'infini en plaçant une lentille convergente de telle manière à ce que le quadrillage soit dans le plan focal objet.
- Placer l'objectif, on peut observer l'image intermédiaire sur un écran.
- Supprimer l'écran et placer l'oculaire à une distance $f_1 + f_2$ de l'objectif, dans ce cas l'image est à l'infini.
- Finalement placer l'œil qui permet d'obtenir l'image sur l'écran.

2.2. Détermination du grossissement

2.2.1. Avec la formule

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f_1}{f_2}$$

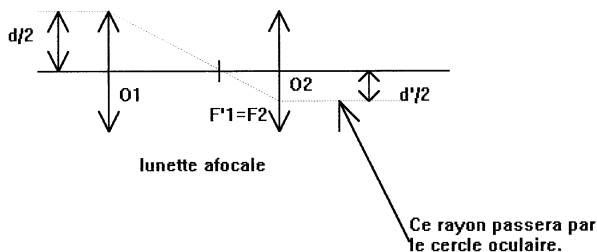
Ici : $G = 25/10 = 2,5$

2.2.2. En utilisant le cercle oculaire

Le cercle oculaire est l'image de l'objectif donnée par l'oculaire.

Supprimer l'œil fictif et l'objet à l'infini. Envoyer un faisceau de lumière d'une source éloignée de la lunette. Repérer derrière la lunette l'endroit où le faisceau a l'encombrement minimum (il s'agit de l'image de la monture de l'objectif donnée par l'oculaire). On montre $G = \frac{d}{d'}$ pour un rayon incident parallèle à l'axe principal (voir schéma).

d désigne le diamètre de l'objectif et d' le diamètre du cercle oculaire.



Valeurs trouvées : $d = 3,8$ cm et $d' = 1,6$ cm d'où $G = 3,8/1,6 = 2,4$.

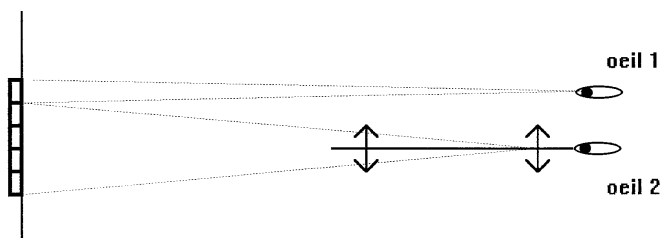
2.2.3. Observation d'une mire

On utilise une mire placée à quelques mètres, la manipulation nécessite un observateur entraîné. Il faut supprimer l'œil fictif et l'objet à l'infini.

On conserve uniquement l'objectif et l'oculaire, on vise une mire placée à plusieurs mètres :

- avec un œil utilisant la lunette,
- et l'autre observant directement la mire.

On compare le nombre de divisions observées par chaque œil.



Distance lunette/écran : 4 à 5 mètres ; une division de la mire : 10 cm.
Dans le cas étudié l'œil 1 voit une division et l'œil 2 en voit 2,5.

2.3. Quelques propriétés

2.3.1. Sens de l'image

Toujours en supprimant l'œil fictif et l'objet à l'infini on peut observer une mire avec des lettres à quelques mètres et constater que l'image est renversée.

2.3.2. Notion de champ moyen

On peut observer deux traces sur un écran. En reculant cet écran les deux traces peuvent sortir du champ. A la limite de la vision d'un observateur, on peut déterminer l'ordre de grandeur du champ.

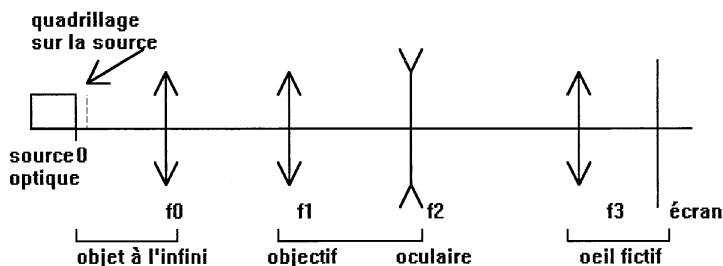
Écran à 5 mètres, distance des deux traces 50 cm.

On aura $\alpha = 0,5/5 = 0,1$ rad presque 6 degrés.

2.4. Lunette de Galilée

2.4.1. Montage

Sur banc optique :



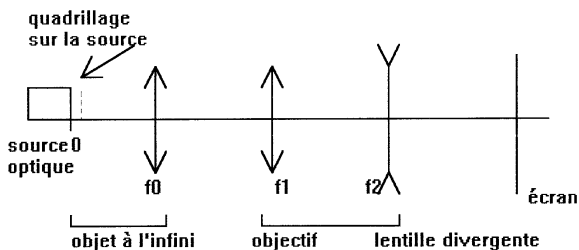
A partir du montage de la lunette astronomique, on remplace l'oculaire convergent par une lentille divergente. $f = -20$ cm, si le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire divergent l'image est virtuelle et se trouve à l'infini.

2.4.2. Propriétés

On peut constater en observant les mires précédentes :

- que l'image est «droite»,
- que l'image est grossie.

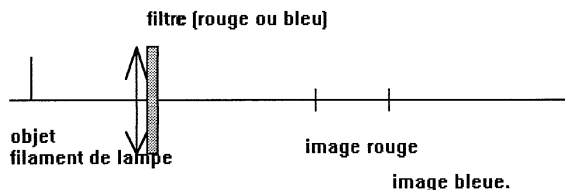
3. LE TÉLÉOBJECTIF



Valeurs utilisées : $f_0 = 20$ cm, $f_1 = 25$ cm et $f_2 = 10$ cm

4. LES ABERRATIONS

Les expériences sont réalisées avec un arc électrique et des lentilles de diamètre 80 mm.



4.1. Les aberrations chromatiques

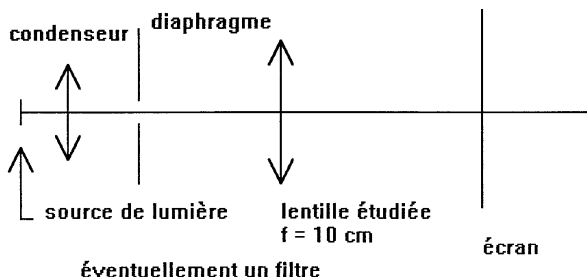
Utiliser une lampe à filament rectiligne.

Remarque : on peut utiliser un faisceau de lumière parallèle (un arc électrique éloigné par exemple) et montrer qu'il y a un «foyer rouge» et un «foyer bleu».

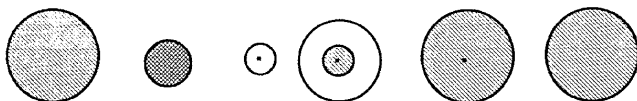
4.2. L'aberration de sphéricité

(Pour un point de l'axe).

Les rayons marginaux et centraux ne convergent pas en un même point.



En déplaçant l'écran on peut observer :



Cela correspond aux intersections des caustiques avec le plan de l'écran. Pour diminuer ce défaut il faut diaphragmer, cela élimine les rayons marginaux.

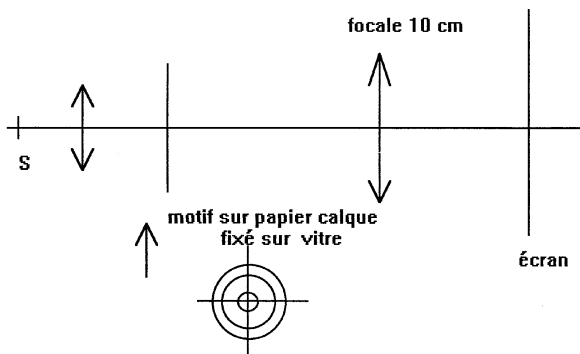
4.3. La coma

La coma est l'aberration de sphéricité des faisceaux inclinés par rapport à l'axe (pour des points éloignés de l'axe optique). On peut la mettre en évidence au moyen du montage précédent. Il faut faire tourner la lentille autour d'un axe vertical.

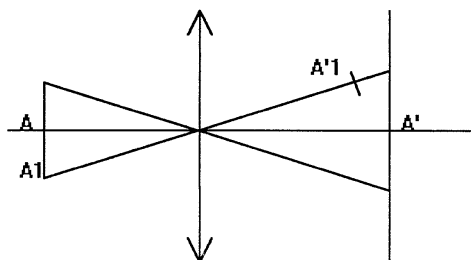
L'image d'un point devient une traînée lumineuse allongée (rappelant une queue de comète).

4.4. Courbure de champ

Cela se produit lors de la formation de l'image d'un objet étendu.



Lorsque l'image est bonne pour le cercle de petit diamètre, les cercles externes sont flous, il est nécessaire de déplacer l'écran pour les rendre nets.



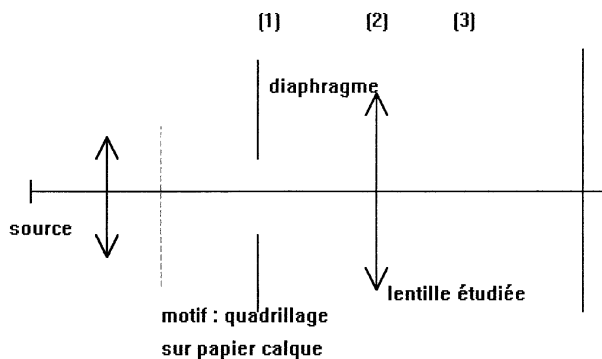
A1 a son image A'1, alors que A a son image en A'.

4.5. L'astigmatisme

Dans l'expérience précédente, cette aberration peut être mise en évidence :

- un rayon peut être net alors qu'un cercle est flou,
- et vice-versa.

4.6. DISTORSION



Selon la position du diaphragme 1, 2 ou 3 on obtient :

- la distorsion en barillet,
- une image correcte,
- la distorsion en croissant.

BIBLIOGRAPHIE

- M. FAUCHER - 1^{ère} CDE, Hatier.
- MM. BERTY et ESCAUT - Physique pratique tome 3, Vuibert.
- MM. BRUHAT et MARÉCHAL - Optique géométrique, Masson.
- B.U.P. n° 502, février 1968.
- Lentilles et objectifs étude expérimentale, Dossier pédagogique n° 22 de l'ADASTA 63177 Aubière.
- M. DUFFAIT - Expériences de Physique, Bréal.