

P3 – Principe de l'instrument d'optique suivant : la lunette astronomique

Des instruments proposés pour ce montage (microscope, téléobjectif et lunette astronomique), celui-ci est le plus ancien. Comme son nom l'indique, la lunette astronomique a pour but l'observation de lointains objets comme les planètes ou les autres astres. Sa structure est relativement simple : elle se compose de deux lentilles convergentes centrées sur un même axe. La première, appelée **objectif**, forme une image intermédiaire de l'objet. La seconde, l'**oculaire**, agrandit l'image pour la rendre plus facilement observable à l'œil humain.

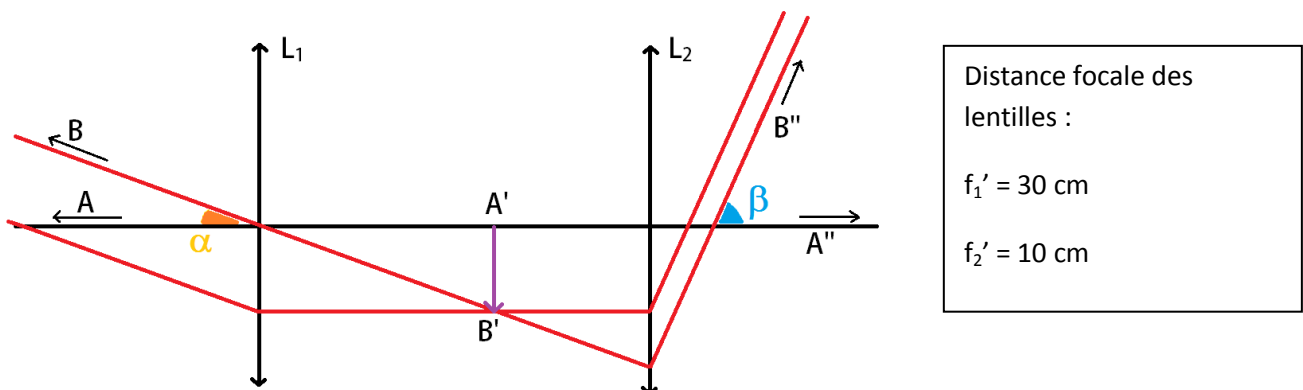
Lors de ce montage, nous étudierons le fonctionnement de la lunette astronomique ainsi que ses caractéristiques.

1. REALISATION DE LA LUNETTE ASTRONOMIQUE

(Bellier et Duffait)

Les rayons traversant l'objectif proviennent de lointains objets AB. On peut donc les considérer parallèles entre eux. En conséquence, l'image intermédiaire A'B' se forme dans le plan focal image de la lentille L₁.

L'œil humain au repos visualise des objets situés à l'infini. L'oculaire doit donc faire en sorte de donner une image A''B'' rejetée à l'infini afin d'améliorer le confort de l'utilisateur (c'est le cas de tous les instruments d'observation). L'image intermédiaire A'B' doit donc se situer dans le plan focal objet de la lentille L₂.



Si on fait le bilan des deux affirmations ci-dessus, on en déduit que les foyers des deux lentilles sont confondus. Les rayons entrant et sortant du système sont parallèles : on parle d'un **système afocal**.

Construction du montage :

On veut maintenant montrer la lunette dans ses conditions d'utilisation. L'objet que l'on veut observer se trouvant à l'infini, on commence par placer une première lentille L₀ dont le plan focal objet est confondu avec l'objet. Ceci permet d'obtenir un objet rejeté à l'infini. Pour ce faire, on utilise la méthode d'auto-collimation avec la première lentille.

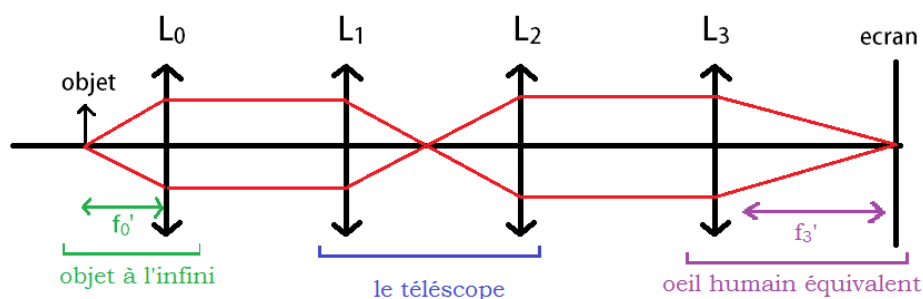
NB : On peut montrer que l'on a des rayons parallèles en plaçant une feuille sur l'axe optique. La taille de l'image formée ne change lorsqu'on la déplace.

La lunette est créée pour accommoder l'œil humain (avec une vision normale ...). On crée donc l'équivalent d'un œil avec une lentille L_3 et un écran placé dans son plan focal image. On place le tout à la suite de « l'objet à l'infini ». Pour placer correctement l'écran, cherche à obtenir une image nette sur l'écran. On est alors bien dans le plan focal de la lentille L_3 .

On peut ensuite rajouter les deux lentilles de la lunette astronomique. Leur position vis-à-vis de l'œil ou de l'objet n'importe pas mais lorsque leur espacement est correct ($d = f_1' + f_2'$), l'image est à nouveau nette sur l'écran.

NB : On peut montrer que le système est afocal en déplaçant le système représentant l'œil. L'image reste nette quelle que soit la position de « l'œil ».

On peut schématiser le montage réalisé comme suit :



Distance focale des lentilles :
$F_0' = 20 \text{ cm}$
$F_3' = 30 \text{ cm}$

2. MESURE DU GROSSISSEMENT

Le **grossissement** est défini par le rapport $G = \frac{\beta}{\alpha}$.

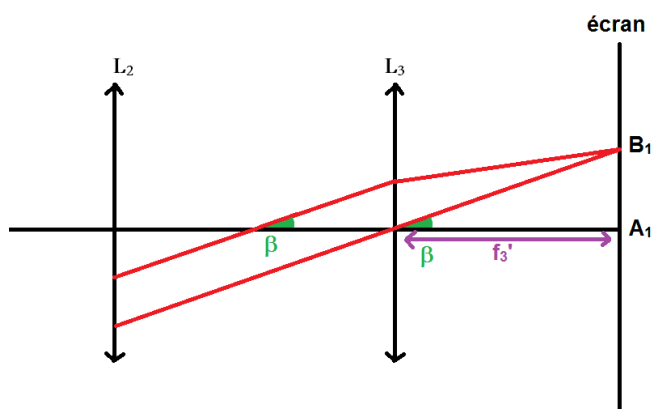
En effet, pour une image ou un objet rejeté à l'infini, il n'y a pas de notion de taille : on utilise plutôt les angles que font les rayons avec l'axe optique. Plus l'angle sous lequel est vu un objet est important et plus celui-ci apparaît « grand ».

Mesure de l'angle β :

On considère un objet AB à l'entrée du système. L'image finale A_1B_1 sur l'écran permet de déterminer l'angle β .

$$\beta \approx \tan \beta = \frac{A_1B_1}{f_3'}$$

On mesure $\beta = \frac{6,1 \text{ cm}}{32,5 \text{ cm}} = 0,188$



Mesure de l'angle α :

L'angle α correspond à l'angle sous lequel un œil verrait l'objet (toujours à l'infini). Pour le mesurer, on retire les lentilles L_1 et L_2 de la lunette. On répète la même opération que pour β avec la lentille L_3 et de l'écran que l'on peut rapprocher.

On mesure $\alpha = \frac{1,8\text{cm}}{30,7\text{cm}} = 0,0586$

On en déduit alors la valeur du grossissement : **G = 3,2**

Valeur théorique :

Si on considère l'image intermédiaire A'B' (voir le premier schéma), on déduit les relations suivantes :

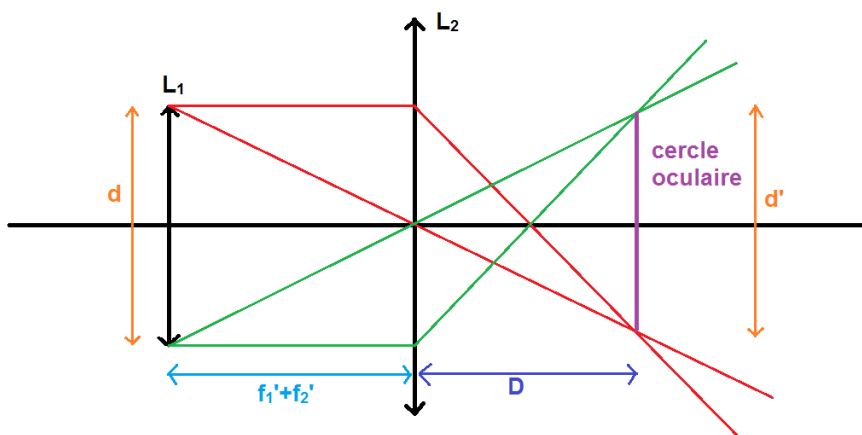
$$\tan \alpha = \frac{A'B'}{f'_1} \quad \text{et} \quad \tan \beta = \frac{A'B'}{f'_2}$$

Alors **$G = \frac{\alpha}{\beta} \approx \frac{f'_1}{f'_2}$** ce qui nous donne un grossissement théorique de $G_{th} = 3$

La valeur théorique correspond à celle que l'on a pu mesurer.

3. CERCLE OCULAIRE

Le cercle oculaire correspond à l'image faite de l'objectif par l'oculaire. La lumière pénétrant la lunette par l'objectif, le cercle oculaire est donc la zone la plus petite où passent tous les rayons en sortie de l'instrument. Il faut donc faire en sorte de placer son œil sur le cercle afin de recevoir un maximum de lumière.



Dans ce même but, l'instrument doit être adapté pour avoir un cercle

oculaire d'une taille du même ordre de grandeur que la pupille de l'œil ($\approx 5\text{mm}$ quand il fait sombre).

On retire les deux dispositifs (œil fictif et objets à l'infini) et on ne garde plus que la « lunette astronomique ». On place une source de lumière derrière l'objectif et on cherche son image par l'oculaire avec un écran. Pour bien repérer cette image, on peut placer un bout de papier accolé à la lentille de l'objectif. Lorsque l'image du papier est nette sur l'écran, celui-ci se trouve dans le plan du cercle oculaire.

$d = 4,2 \text{ cm}$
 $d' = 1,4 \text{ cm}$
 $D = 14 \text{ cm}$

On mesure les diamètres de l'objectif et du cercle oculaire ainsi que la distance séparant l'oculaire du cercle oculaire.

Valeurs théoriques :

Relation de conjugaison : $\frac{1}{L_2C} - \frac{1}{L_2L_1} = \frac{1}{f'_2}$ $\Leftrightarrow D = \frac{f'_2(f'_2+f'_1)}{f'_1} = 13,3\text{cm}$

Et $\frac{d'}{d} = \frac{f'_2}{f'_1}$ $\Leftrightarrow d' = \frac{d}{3} = 1,4\text{cm}$

Les résultats coïncident avec les valeurs mesurées.

4. DIAPHRAGMES DE CHAMP ET D'OUVERTURE

On a pu constater la relation entre la taille du cercle oculaire et les focales des deux lentilles de la lunette. Ainsi plus le diamètre de l'objectif est important et plus le cercle oculaire, son image par l'oculaire, le sera. Mais quand est-il de l'image obtenue ?

On place un diaphragme devant l'objectif. Lorsque l'on le referme progressivement, on constate que l'image elle-même ne change pas. Le champ reste le même. Par contre la quantité de lumière entrant dans le système diminue et l'image devient moins lumineuse. On appelle ainsi la taille de l'oculaire le **diaphragme d'ouverture**.

Par contre si on place le diaphragme sur l'oculaire, on constate qu'il ne fait plus varier la lumière mais la taille de l'image et le champ qu'elle couvre. On qualifie ainsi la taille de l'oculaire comme le **diaphragme de champ**.

Ces deux paramètres sont essentiels lorsque l'on veut caractériser un instrument d'optique. Dans le cas de l'observation d'étoiles, on va par exemple avoir besoin de canaliser un maximum de lumière et il faut donc favoriser un diaphragme d'ouverture de grande taille plutôt celui de champ.

5. FONCTION DE COLLECTEUR DE LUMIERE

La fonction de la lunette astronomique implique de pouvoir discerner et étudier des objets très peu lumineux. Comme on a pu le voir, toute la lumière entrant dans l'objectif est concentrée dans le **cercle oculaire**.

On reprend le montage précédent et on place un fluxmètre devant l'objectif pour mesurer le **flux lumineux** provenant de la source. On fait de même en plaçant l'appareil au niveau du cercle optique. On constate que le flux est nettement supérieur. On a ici mis en évidence le fait que la lunette se comporte comme un collecteur de lumière.

CONCLUSION

Galilée est l'inventeur du premier modèle de lunette astronomique. La **lunette de Galilée** se différencie de celle étudiée au cours de ce montage du fait que son oculaire n'est pas une lentille convergente comme l'objectif mais une lentille divergente. Il est intéressant de savoir que Galilée avait lui-même du mal à répliquer sa lunette car il ne connaissait pas alors son principe de fonctionnement et les lois régissant l'optique.

On a pu voir les deux fonctions principales de la lunette astronomique. Elle permet d'une part de produire une image agrandie et d'autre part d'augmenter le flux lumineux parvenant à nos yeux.

C'est à la lunette astronomique que l'on doit les découvertes des premiers grands astronomes. Aujourd'hui elle est principalement utilisée par les amateurs. On lui préfère le télescope de Newton bien plus précis et utilisant des miroirs sphériques. En effet les miroirs ne sont pas sujets aux **aberrations chromatiques** et le coût de leur fabrication est inférieur. Ceci permet d'en produire de grandes tailles pour capter un maximum de lumière.