TD3 Lunette afocale

On considère une lunette afocale formée des éléments optiques suivants,

- Un objectif de focale 800 mm et de diamètre 80 mm assimilé à une lentille mince convergente
- Un oculaire de focale 80 mm et de diamètre 30 mm assimilé à une lentille mince convergente
- L'objet est à l'infini.

1. Faire un schéma de principe de la lunette et écrire les conjugaisons.
2. Déterminez la distance entre l'objectif et l'oculaire.
3. Exprimer la taille de l'image intermédiaire fournie par l'objectif d'un objet vu à l'infini sous un angle θ, puis exprimer l'angle θ' sous lequel est vue l'image intermédiaire à travers l'oculaire. En déduire une expression du grossissement de la lunette.
4. Sur l'annexe (échelle transversale $\times 1$ et longitudinale $\times 1/4$) faire un schéma de la lunette complète et tracer deux rayons, provenant d'un point objet à l'infini sur l'axe, qui s'appuient sur les bords de l'objectif et qui traversent toute la lunette.
5. Déterminer la position et le diamètre de la pupille d'entrée de la lunette.
6. Déterminer la position et le diamètre de la pupille de sortie. La positionner sur le schéma.
7. Trouver une relation entre le grossissement de la lunette et les diamètres des pupilles d'entrée et de sortie.
8. Tracer deux rayons qui s'appuient sur les deux bords de la pupille d'entrée, pour un point objet provenant d'un bord du champ de pleine lumière (CPL) et qui traversent l'ensemble de la lunette.
9. Déterminer le CPL image, intermédiaire et objet.

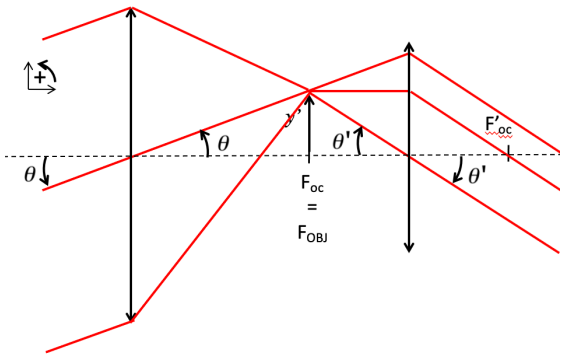
On utilise cette lunette afocale pour pointer la position longitudinale d'un test mobile positionné au foyer objet d'une lentille mince convergente de focale 100 mm. Par construction, l'œil de l'observateur est placé dans le plan focal image de l'oculaire.

10. Que vaut le grandissement longitudinal de l'ensemble {collimateur + objectif} entre le test et le plan focal objet de l'oculaire ?
11. Si l'utilisateur accommode à 4 mètres au lieu de l'infini, quelle erreur commettra-t-il sur la position du test ?

CORRECTION

---

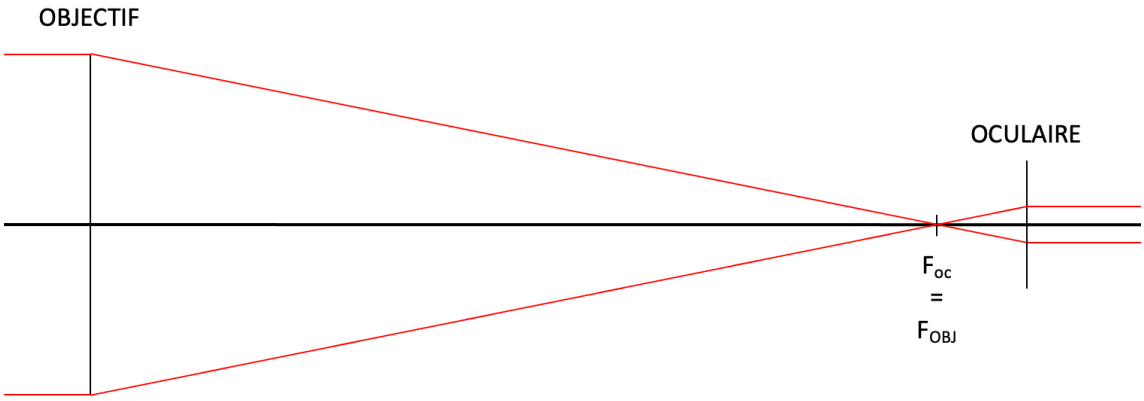
1. $\infty \xrightarrow{objectif} F'_{objectif} = F_{oculaire} \xrightarrow{oculaire} \infty$



2. $d_{obj-oc} = f'_{obj} + f'_{oc} = 880mm$

3. $y' = f'_{obj} \times \theta \; ; G = \frac{\theta\prime}{\theta} = \frac{-y'/f\prime_{oc}}{y'/f\prime_{obj}} = -\frac{f'_{obj}}{f'_{oc}} = -10$

4. Schéma



5. L'élément qui limite l'ouverture des faisceaux est ici l'objectif car il est l'élément vu sous le plus petit angle du point image en Foc dans l'espace intermédiaire. L'objectif est donc également la pupille d'entrée.

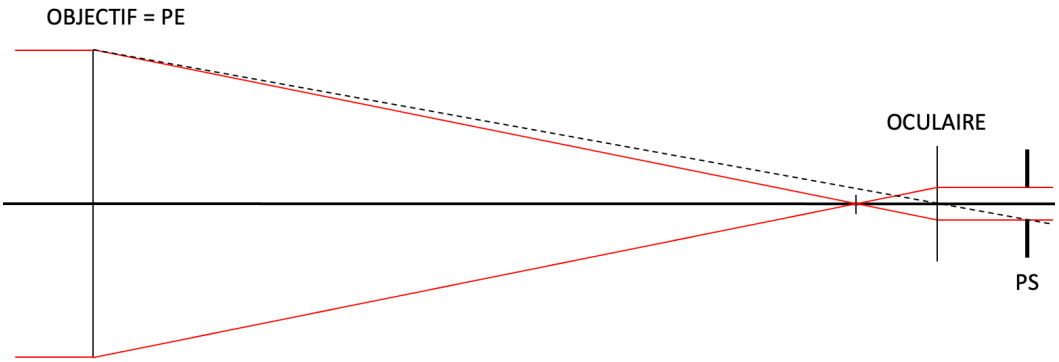
6. La pupille de sortie est l'image de la pupille d'entrée par tout le système, i.e. l'image de l'objectif par l'oculaire. Soit la conjugaison suivante,

$\overline{F_{oc}Pe} \times \overline{F'_{oc}Ps} = \overline{F_{oc}O_{obj}} \times \overline{F'_{oc}Ps} = -f'^{2}_{oculaire}$

ce qui donne $\overline{F'_{oc}Ps} = \frac{-80^2}{-800} = +8\,mm.$

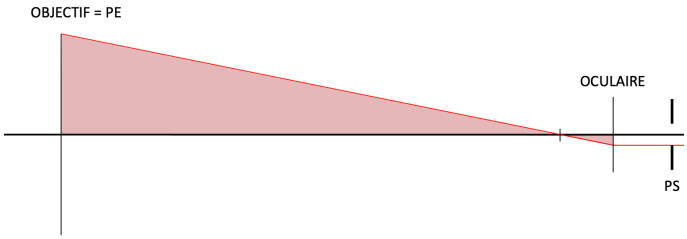
La taille de Ps utilise (par exemple) la formule du grandissement au centre, soit,

$$\phi_{PS} = \phi_{DO} \times \frac{\overline{O_{oc}Ps}}{\overline{O_{oc}Pe}} = 80 \times \frac{80+8}{800+80} = 8\,mm$$



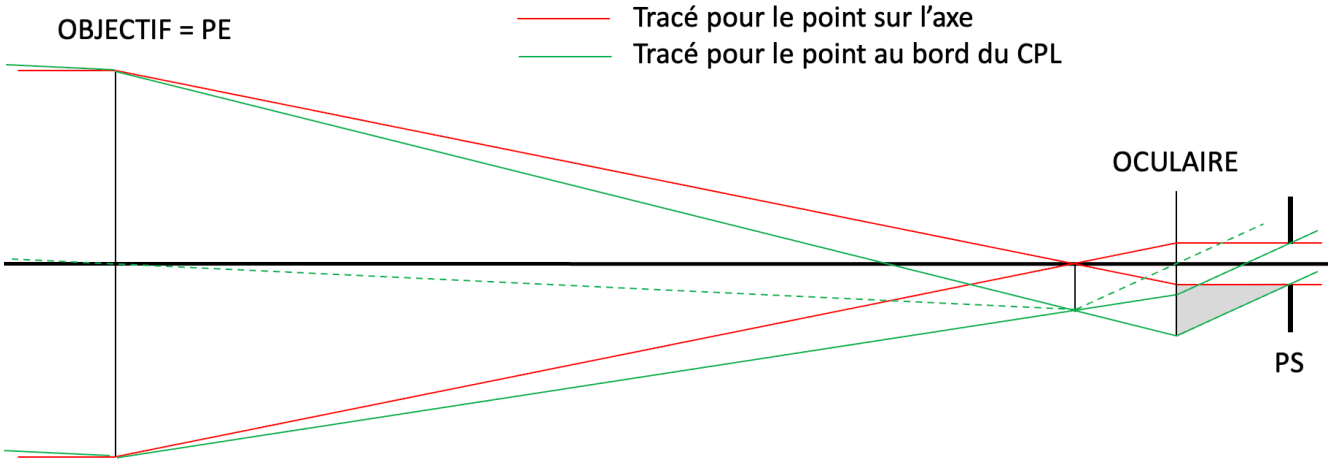
7. En utilisant le rayon qui part du bord de PE et qui va jusqu'au bord de PS, on a simplement la relation suivante (triangles semblables),

$$\frac{\phi_{PS}}{\phi_{PE}} = \frac{f'_{oc}}{f'_{obj}} = \frac{1}{G}$$



Remarque : Un système afocal est un système pour lequel le grandissement est constant contrairement à un système focal (le grandissement dépend de la conjugaison).

8. Tracé bord de champ de pleine lumière



9. Dans le triangle grisé,

$$\theta'_{CPL} = \frac{(\phi_{oc} - \phi_{Ps})/2}{O_{oc}P_S} = \frac{15-4}{80+8} = 0{,}125$$
$$\rightarrow \phi'_{CPL} = f'_{oc}\theta'_{CPL} = 10mm$$
$$\rightarrow \theta_{CPL} = \frac{\theta'_{CPL}}{G} = 0{,}0125 = 7°$$

Une mesure à la règle du CPL dans l'espace intermédiaire permet de confirmer le calcul.

10. Le système {collimateur+obj} travaille en conjugaison foyer-infini-foyer. Le grandissement est donc le rapport des focales.
Le grandissement longitudinal est le carré du grandissement transversal (valable uniquement pour un petit déplacement)

$$g_z\{coll+obj\} = g_y^2 = \left(\frac{f'_{obj}}{f'_{coll}}\right)^2 = \left(\frac{800}{100}\right)^2 = 64$$

11. Il faut écrire les conjugaisons pour bien comprendre la chaine d'image.

$$T \xrightarrow{collecteur} \infty \xrightarrow{objectif} F'_{obj} = F_{OC} \xrightarrow{oculaire} \infty\ (oeil\ au\ repos)$$

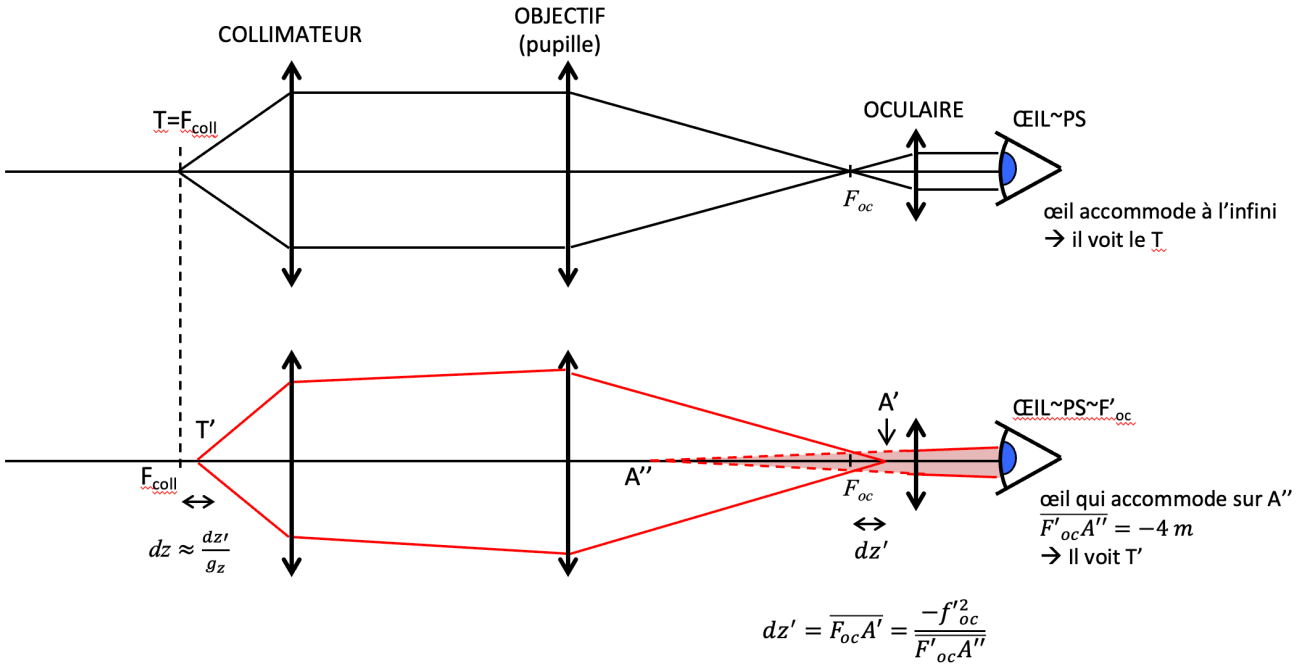
$$T' \xrightarrow{collecteur} A \xrightarrow{objectif} A' \xrightarrow{oculaire} A''(oeil\ accommode)\ \ avec\ \overline{F'_{OC}A''} = \overline{O_{oeil}A''} = -L_{AC}\ mm = -4\ m$$

Pour passer de A'' à A' on utilise la formule de Newton

$$A' \xrightarrow{oculaire} A'' \qquad \overline{F_{OC}A'} \times \overline{F'_{OC}A''} = -f'^2_{OC} \rightarrow \overline{F_{OC}A'} = -f'^2_{OC}/L_{AC}$$

Puis pour basculer dans l'espace objet on utilise le grandissement longitudinal calculé précédemment.

$$T' \xrightarrow{collecteur} A \xrightarrow{objectif} A' \qquad \overline{TT'} = dz = \frac{dz'}{g_{z\{coll+obj\}}} = \frac{\overline{F_{OC}A'}}{g_{z\{coll+obj\}}} = \frac{-f'^2_{OC}}{g_{z\{coll+obj\}} \times L_{AC}} = \frac{80^2}{64 \times 4000} = 25\ \mu m$$



$$dz' = \overline{F_{oc}A'} = \frac{-f'^2_{oc}}{\overline{F'_{oc}A''}}$$