

TP3 / O7 – Instruments d'Optique

Objectifs du TP : Comprendre le principe

- de l'œil, de la loupe et de l'oculaire
- de la lunette de visée à l'infini et du viseur à frontale fixe
- du réglage d'une lunette à l'infini (réglage direct ou réglage par auto-collimation)

I L'œil

I.1 Description → Cf Polycop

I.2 Caractéristique → Cf Polycop

I.3 Défauts et corrections → Cf Polycop

II Loupe et Oculaire

II.1 Intérêt de la loupe

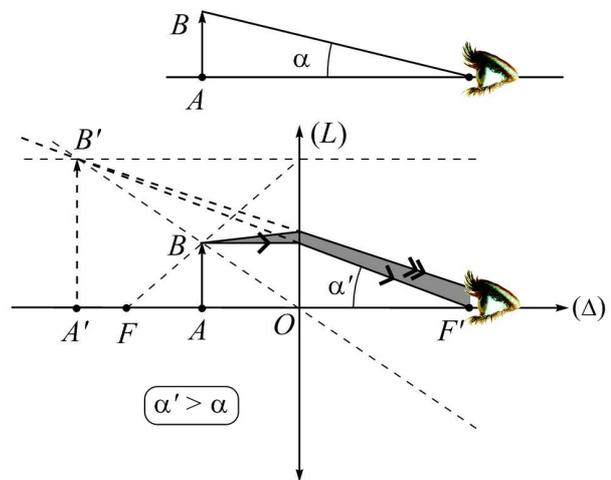
■ **Principe de la loupe :** Pour voir les détails d'un objet à l'œil nu, il faut le placer au *P.P.*, ce qui induit de la fatigue visuelle.
 Par contre, si l'objet est entre le foyer objet et le centre optique d'une lentille convergente, l'image (virtuelle) de cet objet par la lentille est droite, agrandie et observée avec une accommodation moindre.

◇ **Définition :** On appelle **Grossissement** de la loupe :

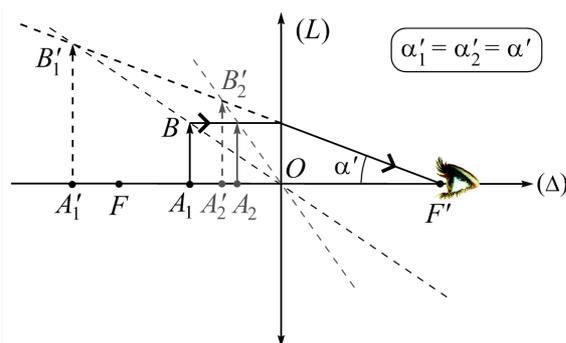
$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

α' : angle sous lequel on voit une image / un objet à travers un instrument (ou diamètre angulaire de l'image).

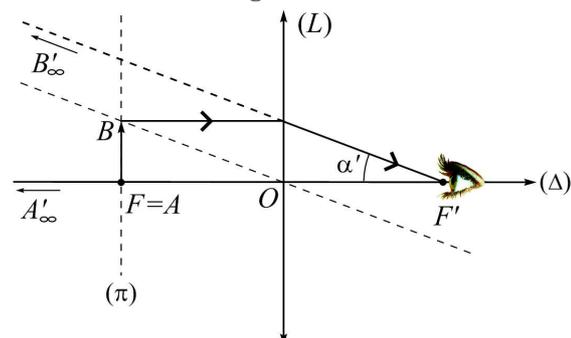
α : angle sous lequel on voit un objet à l'œil nu (ou diamètre angulaire de l'objet).



- Intérêt de placer l'œil dans (Π'), plan image de la loupe : en F' , le diamètre angulaire α' de l'image est indépendant de la position de l'objet entre F et O .



- Si l'objet est placé en F , ie dans le plan focal objet de la lentille convergente, l'image virtuelle est droite et se forme à l'infini : l'œil (normal) n'accommode pas et peut observer tous les détails sans fatigue visuelle.



◇ **Définition** : La **profondeur de champ** (= **latitude de mise au point**, noté Δp) : c'est la distance entre les deux positions extrêmes de l'objet telles que l'image de l'objet soit visible par l'œil placé en F' , c'est-à-dire telles que l'image se forme entre

- le *Punctum Remotum* (objet en F et image à l'infini pour un œil normal)
- et le *Punctum Proximum* (objet en A sur le schéma et image à d_m de l'œil).

Pour un œil normal ($PP = d_m = 25 \text{ cm}$ et $PR = \infty$) : $\Delta p \simeq \frac{f'^2}{d_m}$

Pour un œil myope ($PP = d_m < 25 \text{ cm}$ et $PR = D_m < \infty$) $\Delta p = \frac{f'^2}{d_m} - \frac{f'^2}{D_m}$

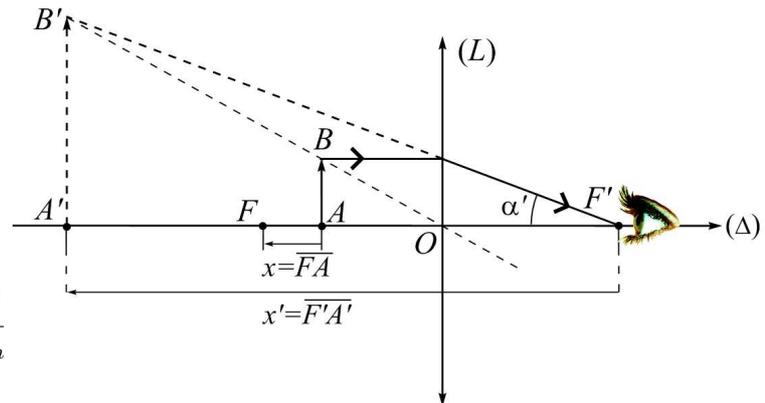
Démonstration : On part de la **Relation de Newton** : $\overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = -f'^2$.

Soit : $x' \cdot x = -f'^2$ si on pose
 $x' = \overline{F'A'}$ et $x = \overline{FA}$.

Comme $x = \frac{-f'^2}{x'}$, lorsque :

$$x'_1 = -d_m, \text{ on a } x_1 = \overline{FA}_1 = \frac{f'^2}{d_m}$$

$$x'_2 = -D_m, \text{ on a } x_2 = \overline{FA}_2 = \frac{f'^2}{D_m}$$



alors $\Delta p = \overline{A_2A_1} = \overline{A_2F} + \overline{FA_1} = -x_2 + x_1 = \frac{f'^2}{d_m} - \frac{f'^2}{D_m}$

CI : On retrouve, pour une faible myopie pour laquelle on a $D_m \gg d_m$, le résultat obtenu pour

l'œil normal : $\Delta p = \frac{f'^2}{d_m}$.

Rq : Il apparaît que la profondeur de champ est d'autant plus faible que la distance focale image est petite.

Par exemple, avec $d_m = 25 \text{ cm}$:

$$V_1 = 20 \delta \quad f'_1 = \frac{1}{V_1} = 5 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \Delta p_1 = \frac{f'^2_1}{d_m} \simeq 1 \text{ cm}$$

$$V_2 = 40 \delta \quad f'_2 = \frac{1}{V_2} = 2,5 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \Delta p_2 = \frac{f'^2_2}{d_m} \simeq 0,25 \text{ cm} \text{ (4 fois plus faible!)}$$

II.2 Oculaire

◇ **Définition** : Un **oculaire** est une loupe « améliorée » : à la place d'une seule lentille, on utilise un ensemble de lentilles convergentes et divergentes équivalentes à une seule lentille convergente.

La lentille d'entrée (côté objet observée) est appelée « lentille de champ » et la dernière (côté œil) est appelée « lentille d'œil ».

Rq : Avantages par rapport à la loupe : (1) distorsion plus faible de l'image ; (2) atténuation des défauts d'achromatisme (cf. TP4 /O8) ; (3) champ d'observation plus important.

Un objet placé dans le plan focal objet de l'oculaire (II) est observé à l'infini.

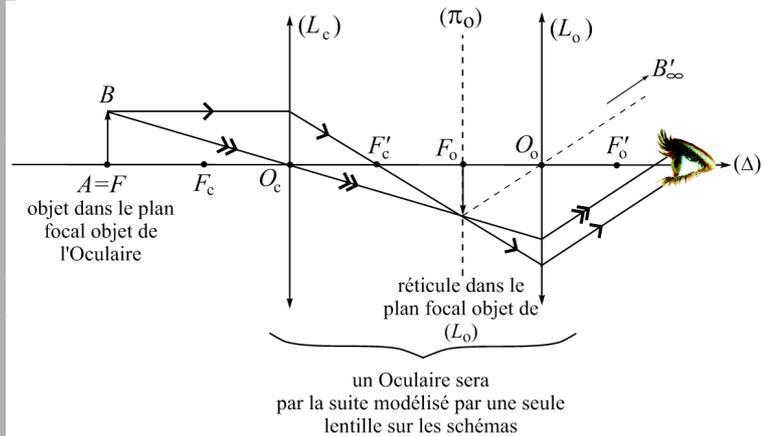
Intérêt d'un tel réglage : L'œil normal est au repos (il n'accommode pas).

Réglage d'un oculaire :

L'objet AB doit donner une image intermédiaire, à l'intérieur de l'Oculaire, en (π_o) , plan focal objet de la lentille d'œil.

Pour s'en assurer, on place en (Π_0) un **réticule** (ou un micromètre) qui doit être vu net, à l'infini, avec l'image finale $A'B'_\infty$, ty à travers l'oculaire de l'objet observé.

Ce réglage suppose que l'observateur regarde sans accommoder.



III Lunettes

III.1 Éléments de base d'une lunette

◇ **Définition :** Une **lunette** comprend :

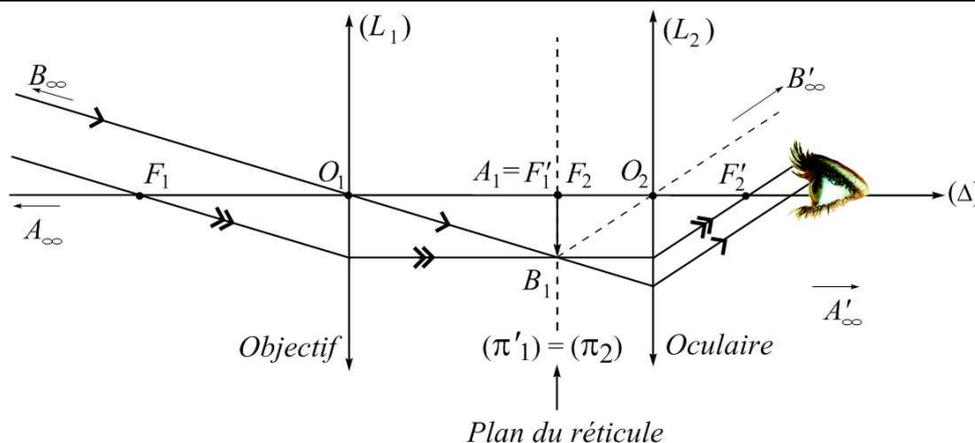
- un **objectif** (\mathcal{L}_1) : c'est une lentille convergente : elle donne de l'objet AB observé (« pointé ») une image intermédiaire A_1B_1 .
- un **oculaire** (\mathcal{L}_2) : pour observer « à la loupe » l'image intermédiaire. Pour ce faire, il faut que A_1B_1 soit placée dans (π_2) plan focal objet de l'oculaire (pour qu'un œil normal observe au repos / n'accommode pas).^a
- un **réticule** : mire qui doit être placée dans le plan de l'image intermédiaire (i.e. (π_2) pour un œil normal).

^a. Dans le II.2) consacré à l'Oculaire, (π_2) était appelé (π) . Ici, on représente l'Oculaire par la lentille convergente qui lui est équivalente.

Rq : les lunettes dites « autocollimatrices » possèdent en plus un système d'éclairage du réticule (cf. III.2)).

III.2 Lunette de visée à l'infini (Lunette « afocale »)

◇ **Définition :** Le but d'une **lunette afocale** est d'observer, sans accommoder, un objet placé à l'infini.



► **Réglage pour un œil normal :**

1) Réglage de l'Oculaire : on règle la distance {Réticule-Oculaire} pour voir le réticule net, sans accommoder (en regardant « dans le vague », donc).

⇒ Pour un œil normal le réticule se trouve alors en (π_2) , plan focal objet de l'oculaire.

Alors, si le réglage est correct, l'œil regardant à l'infini « s'accroche » directement sur le réticule.

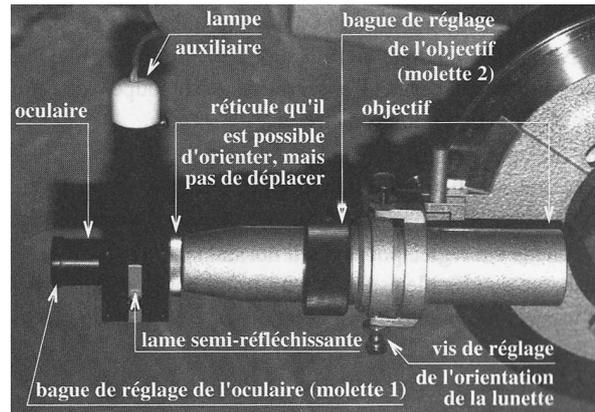
2) Réglage de l'Objectif : on règle le tirage de la lunette en déplaçant l'objectif pour faire coïncider (π'_1) et (π_2) .

⇒ Alors, l'image intermédiaire de l'objet à l'infini, qui se forme dans (π'_1) , coïncide avec le plan du réticule (π_2) .

Conclusion : La lunette est réglée.

Rq : Une fois la lunette réglée, ne jamais modifier le tirage de l'Objectif, c'est-à-dire la distance entre l'Objectif et l'ensemble {Réticule-Oculaire}...

... Car sinon, l'image intermédiaire de l'objet ne coïncide plus avec le réticule, et tout le réglage est à recommencer !!



3) Pour un utilisateur à la vue différente de celui qui a fait le réglage, il suffit de modifier la distance {Réticule-Oculaire}.

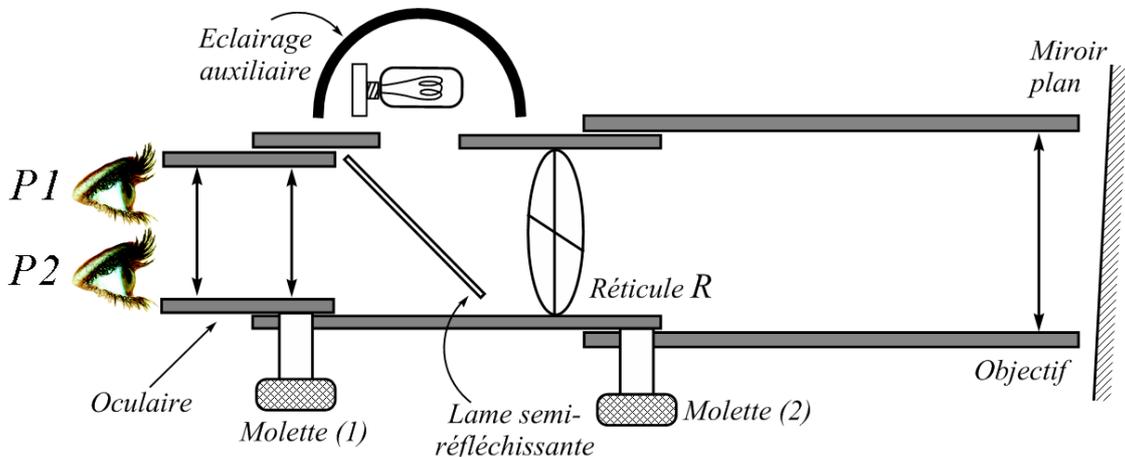
► La question qui nous taraude tous : **comment réaliser, en pratique, l'étape « 2) Réglage de l'Objectif » ?**

Deux solutions :

- soit on pointe un objet lointain assimilable à un objet à l'infini (clocher, arbre,...) (Cf. photo ci-contre)



- soit la lunette est « autocollimatrice » et on peut alors régler l'Objectif par autocollimation (cf. schéma descriptif ci-dessous).



$$\begin{matrix} \text{Réticule } R & \xrightarrow[\mathcal{L}_1]{\text{Objectif}} & \infty & \xrightarrow{\text{Miroir}} & \infty & \xrightarrow[\mathcal{L}_1]{\text{Objectif}} & R^* \\ (\pi_2) = (\pi'_1) & & & & & & (\pi'_1) \end{matrix}$$

Si le réticule, qui est, suite à **1)**, dans le plan focal objet (π_2) de l'Oculaire, est également dans le plan focal image (π'_1) de l'Objectif (ce qu'on veut !!), alors, son image à travers le système optique {Objectif-Miroir-Objectif} se formera dans son propre plan.

Alors, R et R^* , le réticule et son image obtenue par autocollimation, deviennent des objets pour l'Oculaire (\mathcal{L}_2) . Leurs images finales R' et R'^* sont dans le même plan conjugué de (π_2) (c'est-à-dire, à l'infini).

$$R = R^* \xrightarrow[\mathcal{L}_2]{\text{Oculaire}} R'_\infty = R'^*_\infty$$

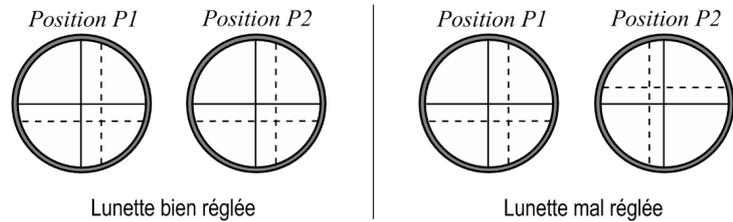
Conclusion : lorsqu'on voit en même temps R' et R'^* nets, c'est que R et R^* sont dans le même plan, donc $(\pi'_1) = (\pi_2)$: l'Objectif est réglé.

Rq : Ce réglage est relativement difficile mais il est *très important* et nécessite donc une grande précision.

Si la lunette est mal réglée, R et R^* ne sont pas dans le même plan.

Alors, lorsqu'on déplace l'œil latéralement devant l'Oculaire, R'^* se déplace par rapport à R' .

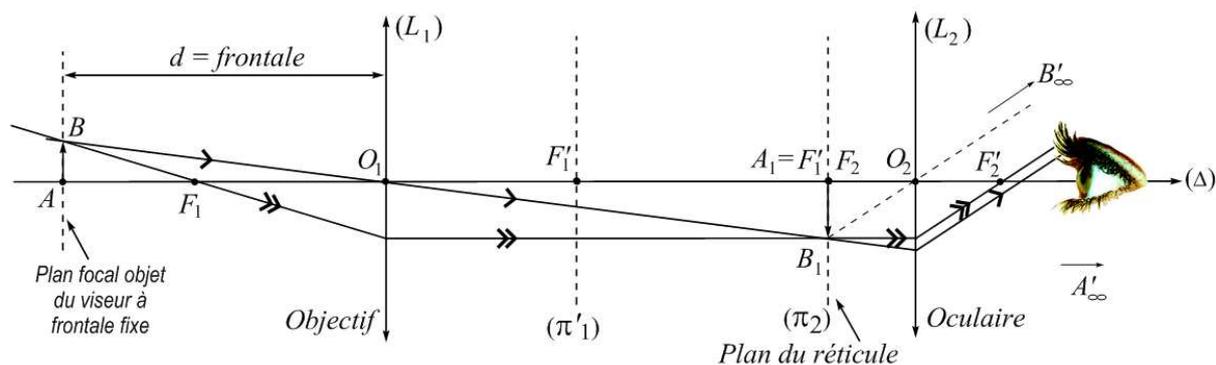
C'est l'« erreur de parallaxe ».



III.3 Lunette à frontale fixe ou Viseur

◇ **Définition :** Un **viseur** donne une image nette d'un objet à distance finie.

Rq : Cela revient à « dérégler » une lunette afocale (cf. III.2) en modifiant son tirage (pour avoir $F'_1 \neq F_2$).



► Réglage pour un œil normal :

Deux méthodes pour obtenir un viseur à partir d'une lunette de visée à l'infini :

- placer devant (\mathcal{L}_1) une lentille additionnelle appelée « bonnette » ;
- augmenter le tirage (la distance) {Objectif}-{Réticule-Oculaire} :

→ plus on veut observer un objet proche du viseur et plus il faut augmenter cette distance / plus il faut augmenter le tirage.¹

→ Mais l'objet ne peut être à une distance inférieure à la focale de l'Objectif f'_1 ²

1. N'oubliez pas qu'il y a nécessairement une distance supérieure à $4f'_1$ entre l'objet et l'image intermédiaire de celui-ci par l'Objectif!

2. Sinon, l'Objectif donnerait de l'objet une image intermédiaire virtuelle *en avant* de (\mathcal{L}_1) qu'il serait impossible de placer en (π_2) , puisque ce plan est *après* (\mathcal{L}_1) : il serait donc impossible d'avoir en sortie une image à l'infini!