

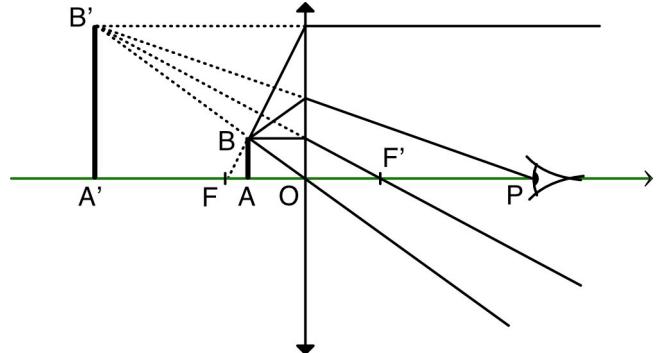
QUELQUES INSTRUMENTS D'OPTIQUE - TP

1. Système œil-loupe ; notion de grossissement

- Pour un objet réel, entre le foyer objet et le centre optique, la loupe donne une image virtuelle agrandie.

Toutefois, le plus important n'est pas le grossissement car si l'image agrandie est très éloignée, elle peut être vue très "petite" (par effet de perspective) ; il faut alors considérer l'angle sous lequel l'œil observe cette image.

Puisque la position P de l'œil est toujours au-delà du centre O de la loupe (aligné avec B et B'), alors la relation $A'B' > AB$ implique une inégalité entre les angles : $\hat{A'PB'} > \hat{APB}$.



- On appelle grossissement le rapport des angles : $g = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\hat{A'PB'}}{\hat{APB}}$ (différent du grandissement).

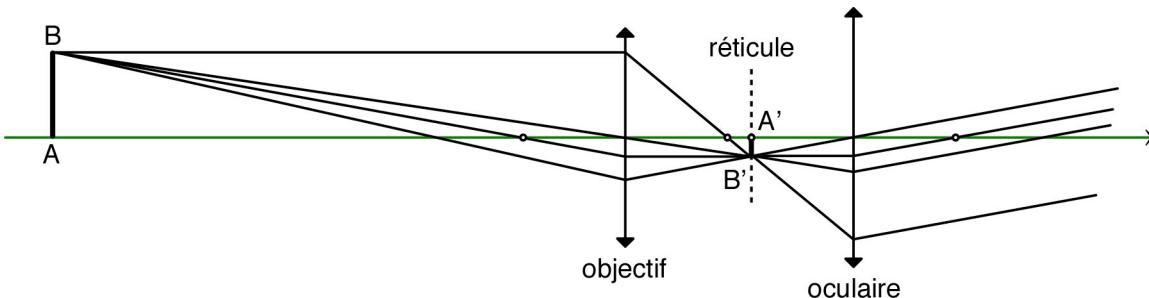
Ainsi, en ce qui concerne ces propriétés, la distance à laquelle se forme l'image importe peu : elle peut même se former à l'infini pourvu qu'elle soit vue sous un angle "grossi".

◊ remarque : si on observe dans les conditions de Gauss (pour éviter les distorsions sur les bords de la loupe), alors les angles restent faibles et on peut considérer : $g \approx \frac{\tan(\theta')}{\tan(\theta)} = \gamma \frac{\overline{AP}}{\overline{A'P}}$; en particulier, puisque l'image est plus éloignée de l'œil que l'objet, le grossissement est inférieur au grandissement.

2. Lunettes et viseurs

2.1. Observation d'un objet éloigné

- Le principe du viseur est adapté à l'observation d'un objet éloigné (viser un objet à 2 ou 3 m au moins), pour lequel l'usage d'une loupe est rendu impossible par l'éloignement :



◊ à l'aide d'une première lentille (appelée "objectif"), on forme une image réelle de l'objet observé ; cette image est forcément d'autant plus petite que l'objet est éloigné ;

◊ à l'aide d'une seconde lentille (nommée "oculaire", et qui peut être remplacée par un oculaire à plusieurs lentilles), on observe "à la loupe" l'image précédente (on en fait une image à l'infini).

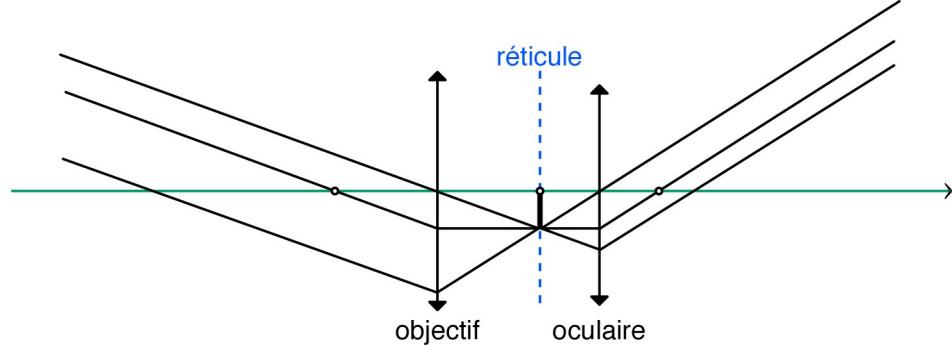
◊ remarque : un réticule dans le plan image intermédiaire facilite le réglage (et les mesures éventuelles) :

- on règle l'oculaire pour voir net le réticule ;
- on règle l'objectif pour voir nette l'image intermédiaire de l'objet superposée au réticule.

◊ remarque : l'image "finale" est à l'infini car c'est le moins fatigant pour l'œil ; en outre, l'usage de l'oculaire comme une loupe conduit à placer de préférence l'œil au voisinage du plan focal image de cette lentille.

2.2. La lunette astronomique (visée à l'infini)

- La lunette correspond au cas particulier de la visée à l'infini (le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire) :



La caractéristique principale de la lunette est le grossissement, environ égal au rapport des distances focales de l'objectif et de l'oculaire : $g = \frac{\theta'}{\theta} \approx \frac{\tan(\theta')}{\tan(\theta)} = \frac{f_{ob}}{f_{oc}}$ ($g < 0$, donc l'image est "renversée").

◊ remarque : l'image d'un point à l'infini est un point à l'infini ; la lunette est un instrument d'optique "afocal".

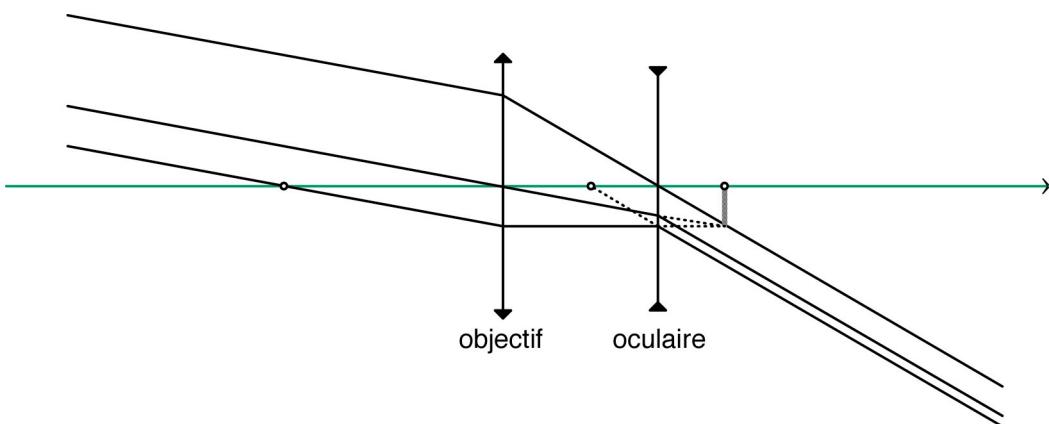
◊ remarque : les "jumelles" usuelles utilisent le même principe que le viseur et la lunette ; le renversement de l'image est compensé par un second retourment dans un biprisme à réflexion totale.

2.3. La lunette de Galilée et le télescope

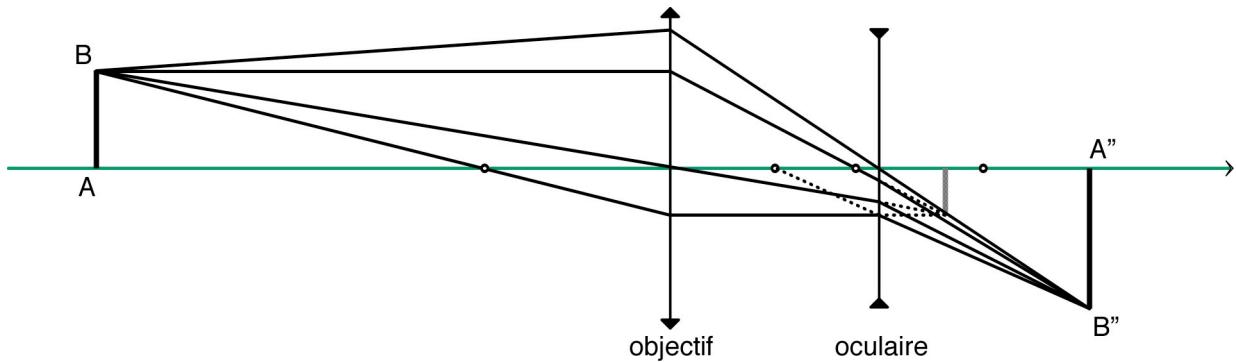
- Le principe de la lunette de Galilée est analogue au précédent mais avec un oculaire divergent.

Les principaux avantages sont le non renversement de l'image et la compacité (ce principe est de ce fait souvent utilisé pour les jumelles de théâtre).

◊ remarque : la lunette de Galilée ne peut comporter de réticule que si celui-ci est inclus dans l'oculaire (alors forcément à plusieurs lentilles, contrairement au schéma simple suivant).



- Le principe du télescope est analogue à celui de la lunette de Galilée, mais pour une visée à distance finie et une image à distance finie (sur la pellicule photo) :



◊ remarque : il existe aussi des instruments analogues aux lunettes mais avec miroirs (convergents et divergents) : les télescopes ; de même, il existe des télescope à miroirs.

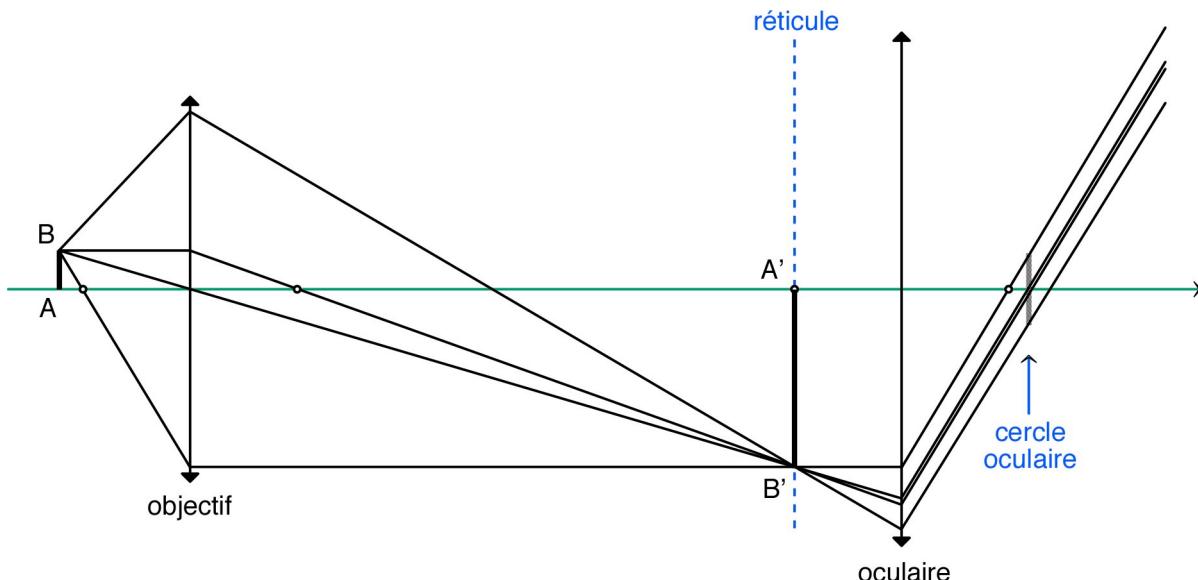
3. Le microscope

- Le principe du microscope est lui aussi analogue à celui du "viseur" (et de la lunette), mais au lieu d'observer "à la loupe" l'image rapprochée (et rétrécie) d'un objet éloigné, on regarde à la loupe la projection agrandie d'un objet proche mais très petit.

Ce principe est décrit par le schéma ci-après, où l'angle de champ et la taille de l'objet sont exagérés pour plus de lisibilité (mais où tous les rayons ne sont pas tracés pour des raisons d'encombrement).

- On peut noter que la quasi-totalité de la lumière incidente coupe l'axe optique au voisinage du foyer image de l'oculaire (légèrement plus loin) ; on appelle " cercle oculaire " la position correspondante, où il est préférable de placer l'œil pour obtenir la meilleure observation (à la fois pour la luminosité et pour la "largeur" du champ d'observation).

◊ remarque : l'objectif n'est pas utilisé dans les conditions de Gauss ; il faut utiliser en réalité une association de lentilles permettant de compenser les défauts correspondants (distorsions et achromatisme).



◊ remarque : on peut aussi s'intéresser au grossissement "effectif", correspondant au rapport entre l'angle de vision avec le microscope et l'angle de vision de AB sans microscope depuis un point rapproché à 25 cm.

QUELQUES INSTRUMENTS D'OPTIQUE - TP - Document Annexe

4. Exemple d'étude des conditions d'utilisation d'une loupe

4.1. Position de la lentille et de l'objet

- Si on suppose fixée la distance objet-œil ($D = \overline{AP}$), on peut se demander quelle est la position "idéale" de la loupe vis-à-vis du grossissement. Soit $d = \overline{AO}$ repérant la position de la loupe par rapport à l'objet (et réciproquement), montrer que dans la limite des faibles angles : $g \approx \frac{f' D}{d^2 + D.(f' - d)}$.

Compte tenu du fait que l'image virtuelle ne peut être observée que pour $d \leq f'$, en déduire que :

- ◊ pour une loupe peu convergente ($f' \geq \frac{D}{2}$), le grossissement maximum correspond à : $d = \frac{D}{2}$ (en pratique, ceci consiste à placer la loupe à mi-chemin entre l'œil et l'objet) ;
- ◊ pour une loupe assez convergente ($f' \leq \frac{D}{2}$), le grossissement maximum correspond à : $d = f'$ (en pratique, ceci consiste à placer la loupe de telle façon que l'objet soit dans son plan focal objet).
- Pour une loupe peu convergente, les conditions : $d = \frac{D}{2} \leq f'$ conduisent à : $g \approx \frac{4f'}{4f' - D} \leq 2$; pour une loupe assez convergente, les conditions : $d = f' \leq \frac{D}{2}$ conduisent à : $g \approx \frac{D}{f'} \geq 2$.

4.2. Position de la lentille et de l'œil

- Il faut toutefois éviter toute confusion : on a raisonné précédemment avec D fixé.

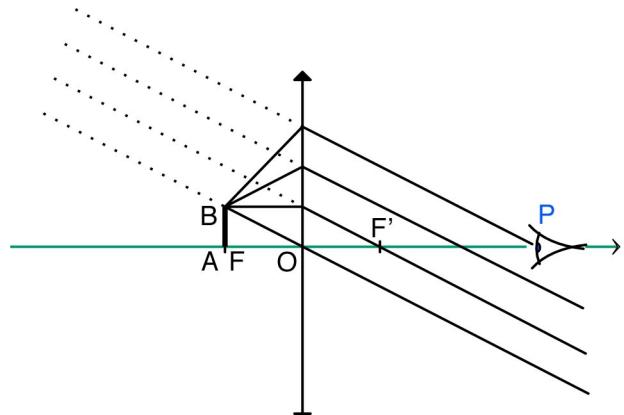
Il faut ne pas croire que pour voir l'objet arbitrairement gros il suffit d'utiliser une lentille assez convergente avec $d = f'$, puis d'augmenter arbitrairement D (pour augmenter $g \approx \frac{D}{f'}$) ; en effet, l'augmentation de D augmente g sans augmenter θ' mais en diminuant θ (parce que l'objet s'éloigne de l'œil).

On peut vérifier en particulier que, dans le second cas, l'image (à l'infini) est vue de la même grosseur quelle que soit la position de l'œil.

- Une façon d'éviter cette ambiguïté consiste à utiliser le "grossissement commercial" : valeur particulière du grossissement dans le cas où l'objet est au "punctum proximum" (distance minimum de vision normale, soit 25 cm) et où l'image est au "punctum remotum" (distance maximum de vision normale, soit à l'infini).

Le choix de ce cas particulier est précisément justifié :

- ◊ s'il cherche à voir "gros", l'œil regarde de près ; donc il faut considérer ce que la loupe améliore par rapport à un œil qui regarde du plus près possible ;
- ◊ l'œil a un effort d'accommodation minimum lorsqu'il regarde "à l'infini" ; donc il faut considérer l'image à l'infini car c'est la situation d'observation normale (la plus confortable).



- On reconsidère donc le problème avec :

◊ la distance objet-œil sans loupe : $D = \overline{AP} = D_{pp} = 25 \text{ cm}$;

◊ la distance objet-œil avec loupe : $D' = \overline{AP'}$ variable ;

◊ la distance objet-loupe : $d = \overline{AO}$ variable.

Le grossissement maximum correspond (si possible) à : $\frac{\partial g}{\partial D'} = 0$ et $\frac{\partial g}{\partial d} = 0$ (dans la limite où $d \leq f'$). Le calcul (nettement plus compliqué) permet de conclure que le grossissement maximum ($g = g_c = \frac{D_{pp}}{f'}$) correspond à : $d = f'$, avec dans ce cas D' indifférent.

- On peut alors vérifier qu'enversément, si la distance loupe-œil est : $D' - d = f'$, alors la direction du rayon $B'F'$ est indépendante de la position de AB .

Par suite la "grosseur" de l'image observée est indépendante de d (avec tout de même $d \leq f'$).

Cette propriété est utile car l'ajustement $d = f'$ souhaité précédemment n'est pas facile à ajuster précisément (la loupe doit être bien tenue, et l'objet ne doit pas être trop épais).

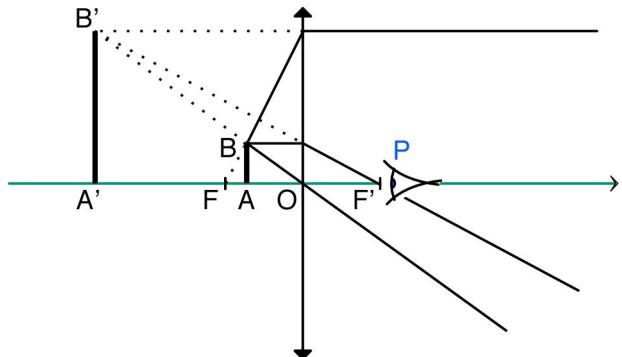
Ainsi, si on choisit à la fois $d \approx f'$ et $D' \approx 2f'$ (donc $D' - d \approx f'$) alors on obtient non seulement le grossissement maximum mais avec de plus la mise au point la plus facile.

En conclusion : l'usage le plus efficace de la loupe consiste à placer l'objet dans le plan focal objet et l'œil dans le plan focal image (dans la mesure du possible, selon la distance focale).

◊ remarque : de toute façon, il faut ne pas placer l'œil trop loin de la lentille si on veut en limiter les défauts (distorsions et achromatisme) découlant du non respect des conditions de Gauss.

- Une autre façon d'éviter l'ambiguïté précédente consiste à décrire "l'efficacité" de la loupe à l'aide de la "puissance" (au sens optique du terme) : $P = \left| \frac{\theta'}{AB} \right|$ (dont l'unité de base est la dioptrie). L'étude correspondante est analogue.

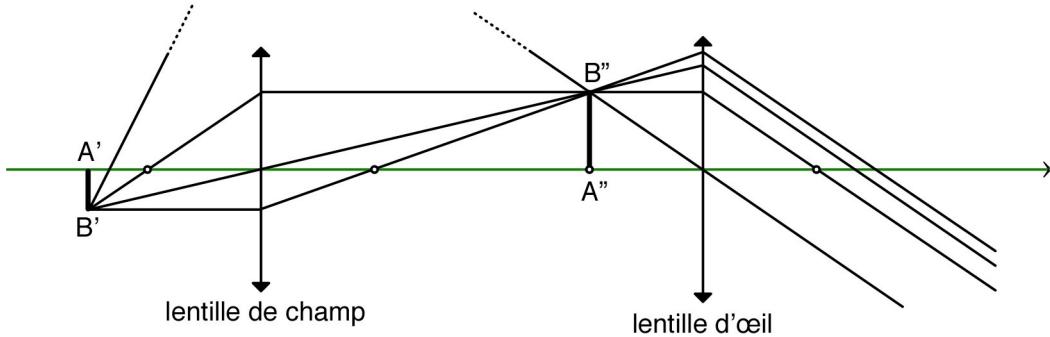
◊ remarque : lorsqu'on observe l'image à l'infini, la valeur particulière de la puissance obtenue est appelée "puissance intrinsèque" ; pour une loupe, cette puissance intrinsèque est : $P_i = \frac{1}{f'} = v$ (vergence).



5. Les oculaires à plusieurs lentilles

• Beaucoup d'instruments d'optique ont un oculaire constitué lui même de deux lentilles (ou plus), afin d'en améliorer les qualités.

• Pour une lunette astronomique, par exemple, l'image intermédiaire est proche mais très petite (d'autant plus que l'objet observé est éloigné). Pour en améliorer l'observation à l'aide de l'oculaire, on remplace la lentille simple (servant de loupe) par un assemblage de deux lentilles équivalent à un "petit microscope" :



• La lentille proche de l'objet observé (image intermédiaire donnée par un objectif) est alors nommée "lentille de champ" et la lentille proche de l'œil est nommée "lentille d'œil".

• D'autres assemblages peuvent être utilisés selon l'instrument d'optique considéré, pour l'oculaire d'un microscope par exemple l'amélioration souhaitée est plutôt l'élargissement du champ d'observation. Qui plus est, en associant une troisième lentille (ou plus), il est possible de combiner différentes améliorations ainsi apportées.

QUELQUES INSTRUMENTS D'OPTIQUE - TP

Matériel

Au bureau

diverses lentilles convergentes et divergentes
divers miroirs convergents et divergents
(double ?) mètre ruban

Pour chaque groupe (10 groupes)

1 banc d'optique avec accessoires
2 supports supplémentaires (?)
1 lampe de poche
1 tige (diamètre 8 ou 10 mm ; longueur \approx 50 cm)
1 tige (diamètre 8 ou 10 mm ; longueur \approx 20 cm)
1 tige pour supports sur banc (diamètre 10 mm ; longueur 10 cm)
4 noix de serrage dont 2 petites