

4 – M – Vision et image

– Qu'est-ce que « faire une image » ? (qualitatif)

- Sténopé
- Lentille + aberration si possible (avec le Laser au tableau)

II- Projection de l'image réelle de l'objet. (Expérience d'optique agrégation R.Duffait vieux livre vert et blanc)

- Faire le dispositif devant le Jury en expliquant toutes les étapes (rien n'est laissé au hasard)

Condenseur qui éclaire l'objet totalement (max de lumière) / lentille à presque f' de l'objet pour un grandissement de 10 (image à l'infini) : placer l'écran loin / jouer sur le condenseur pour faire converger les rayons sur le centre de la lentille (conditions de Gauss)

Discuter des aberrations liées à l'utilisation d'une lentille.

III- Vérification formule de conjugaison (quantitatif) (Duffait capes p 176)

- Objet réel et on trace $\frac{1}{OA'} = f' \left(\frac{1}{OA} \right)$ (pente min et pente max)

III- Modélisation de l'œil : (Qualitatif) Sextant p.27, Journeaux p.340)

- **Œil normal** (objet à l'infini à la distance focale de la lentille de projection et l'œil modélisé par une lentille convergente à la distance focale de l'écran (fixer le tout), image sur la rétine (schéma de l'œil en arrière plan avec diaphragme qui joue le rôle d'iris.

PP en rapprochant l'objet au pp et faire l'accommodation en plaçant une lentille de focale $f' = PP$ pour que le cristallin envoie le tout sur la rétine, la nouvelle lentille augmente la vergence.)

- **Œil myope** (cette fois on recule l'écran et l'objet à l'infini ne fait plus une image nette, il faut rapprocher l'objet) utiliser une divergente et trouver le PR (il n'est plus à l'infini)

IV – Construction d'une lunette astronomique : (quantitatif) Duffait d'agreg p.101 (ou Capes)

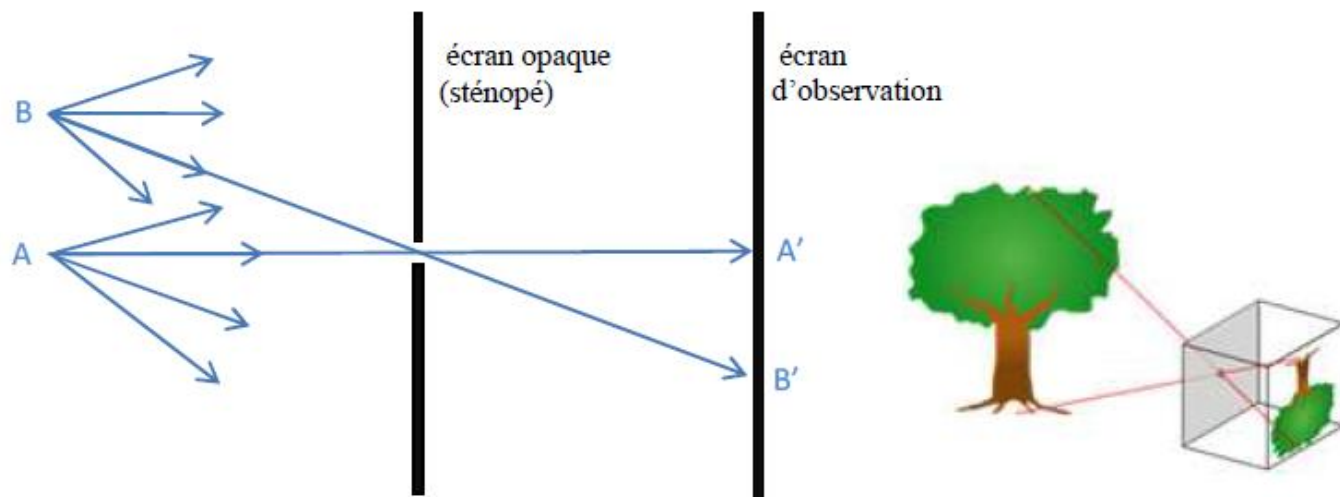
- formation de l'image à l'infini (par autocollimation)
- formation de l'œil (L3 dans l'image de l'objet ∞ est net sur l'écran (rétine))
- construction de la lunette (afocale)
- Mesure de grossissement par différentes méthodes : avec les tailles des objets (avec et sans la lunette) , focales (des deux lentilles qui composent la lunette)

Introduction :

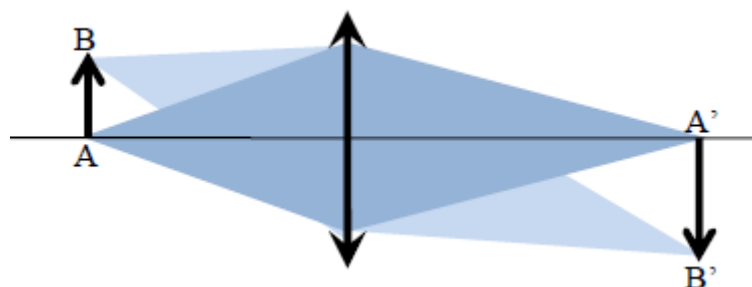
I – Préliminaire : Qu'est-ce que « faire une image » ? Illustration : passage du sténopé à la lentille

En optique, la définition de l'image s'appuie sur la notion de stigmatisme : le faisceau de lumière émis par chaque point (ou une partie) d'un objet se concentre en un point (ou pas loin en cas de stigmatisme approché) de ce qu'on appelle l'image. Il peut être intéressant de commencer par illustrer cela en montrant d'abord le principe du sténopé (chambre noire) avant d'utiliser une lentille :

- **Le sténopé** : placez un objet diffusant et bien lumineux devant la lampe, puis un diaphragme de diamètre assez petit pour que l'image soit visible sur un écran pas trop éloigné. Commentez :
 - avantages ? (simplicité ; l'image est partout : pas de relation de conjugaison à vérifier, profondeur de champ infinie ; pas d'aberration si le trou est assez gros pour la diffraction ne joue pas)
 - inconvénients ? (pour que l'image soit nette – condition de stigmatisme – le trou doit être petit, mais alors l'image est peu lumineuse !)



- **La lentille** : elle va jouer le même rôle que le trou du sténopé, mais en collectant un large faisceau lumineux (celui qui s'appuie sur sa surface). Avantage : image plus lumineuse. Inconvénient : l'image ne se forme pas partout mais à une position donnée par la relation de conjugaison, fonction de la position de l'objet et de la distance focale de la lentille. Le stigmatisme n'est pas parfait (aberrations en dehors des conditions de Gauss), la profondeur de champ est réduite (d'autant plus que la lentille a un grand diamètre et que le capteur a une bonne résolution).



II – Projection de l'image réelle d'un objet réel (Duffait Agreg p.33, Sextant p.19, Journeaux p.322)

1. Principes de bases.

Cette expérience vous permettra de revoir les principes de base utiles dans tout montage optique (utilisation correcte du condenseur, choix de la lentille de projection en particulier) et peut servir à illustrer le principe d'un instrument d'optique réel : **rétroprojecteur**, **projecteur de diapositives** ou **vidéoprojecteur** (objet transparent) ou **appareil photographique** (objet diffusant).

Projetez d'abord l'image d'une grille **transparente** :

- **rôle du condenseur** : capter un maximum de lumière venant de la source pour la renvoyer vers l'objet puis la lentille, c'est donc une lentille convergente de grande ouverture et de courte focale (≈ 7 cm pour les nôtres)

- **placez l'objet tout contre le condenseur** pour obtenir un champ important (il sera limité par l'ouverture du condenseur)

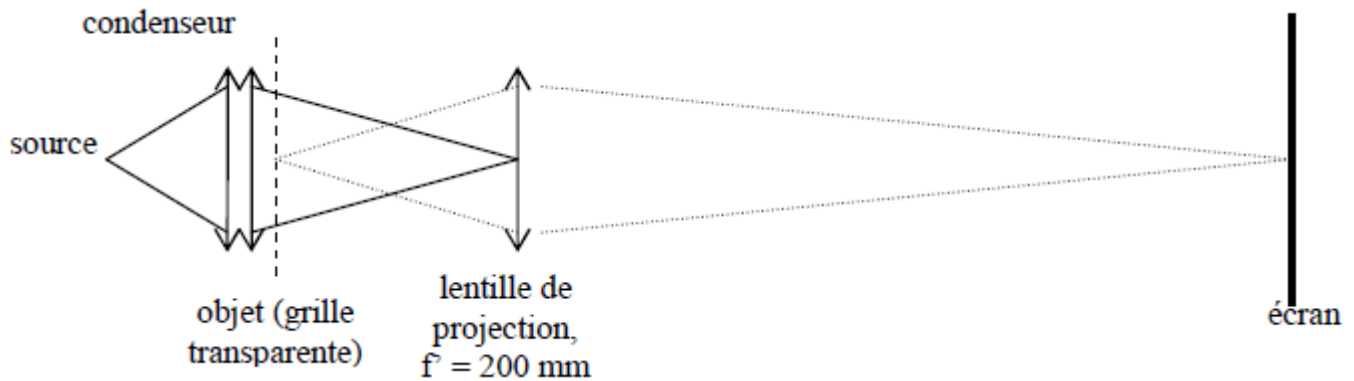
- **choisissez la focale de la lentille de projection** de façon à obtenir par exemple un grandissement de 10 à environ 2 m : si on projette assez loin, la distance lentille – objet est quasiment égale à la focale, donc le grandissement peut s'estimer rapidement par $|g| \gg D/f'$ (où D est la distance de projection). On choisit donc ici $f' \gg 2\text{ m} / 10 = 200$ mm.

- **pour diminuer les aberrations**, on placera la lentille de projection près du point de convergence du condenseur, ainsi elle sera éclairée près de son centre, donc pas loin des conditions de Gauss.

- **réglez la distance source - condenseur** afin de pouvoir mettre la lentille au point de convergence du condenseur (cf ci-dessus) tout en arrivant à faire la mise au point sur l'écran : on voit donc que sur ce montage, chaque élément a sa place, rien n'est mis au hasard !

- **soignez l'alignement du montage** en vérifiant que chaque élément est bien centré dans le faisceau, que celui-ci est bien horizontal

- **schéma de principe du montage réalisé** (il devra figurer au tableau) :



- **changez de lentille pour obtenir un grandissement différent** : vérifiez qu'une lentille de focale plus grande donne un grandissement plus faible (attention : ceci est valable pour un agrandisseur seulement ; dans un appareil photo c'est l'inverse). Il faudra penser à changer la distance source – condenseur de façon à toujours faire converger la lumière de la lampe au voisinage de la lentille.

- **une deuxième image réelle possible** : vérifiez en déplaçant seulement la lentille qu'un autre réglage permet d'avoir une image réelle, rétrécie cette fois-ci (le grandissement est inversé : principe de retour inverse de la lumière).

- **encombrement minimum** : pour une lentille donnée, montrez que si vous rapprochez l'écran la mise au point n'est possible que jusqu'à une certaine limite (la relation de conjugaison impose que la distance objet réel – image réelle doit être supérieure à $4 \times f'$). Le grandissement atteint $|g| = 1$ dans la position limite dite $2f-2f$.

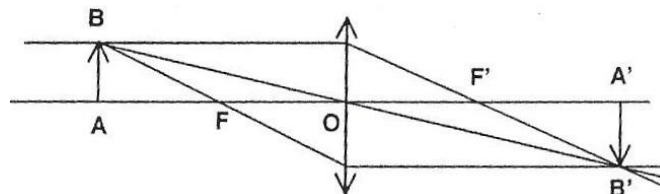
- revenir à un grandissement de 10 environ puis remplacez la grille transparente par une grille **diffusante** et comparez : impossible maintenant d'obtenir un faisceau convergent sur la lentille, elle est forcément largement éclairée. La seule solution pour minimiser les aberrations est alors d'utiliser une lentille de petite ouverture, mais on perd alors en luminosité. En pratique, on remplace la lentille simple par une association complexe (objectif) calculée pour minimiser les aberrations pour une utilisation donnée.

2. Vérification de la loi de conjugaison de Descartes. (Duffait capes p 176)

Formule de conjugaison avec origine au centre optique : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} = \frac{1}{OF'}$

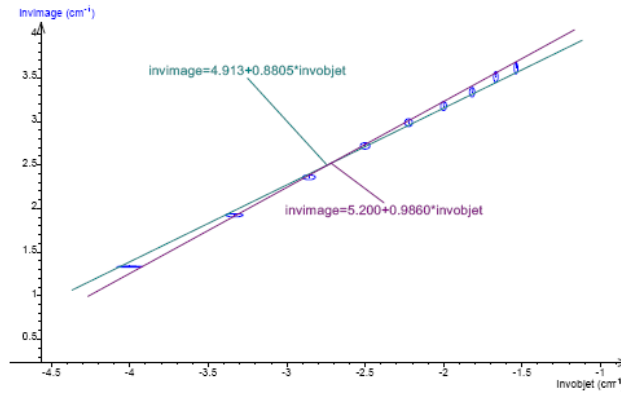
Nous allons donc étudier différentes positions de l'objet et de l'image pour vérifier la linéarité de cette relation.

a) Objet réel/Image réelle



On relève plusieurs mesures pour cette configuration (qui est la plus simple à mettre en œuvre).

Trace : $\frac{1}{OA'} = f' \left(\frac{1}{OA} \right)$



On trace les pentes minimale et maximale.

L'ordonnée à l'origine nous permet de vérifier la vergence de la lentille.

$B_{\min} = 4,913 \text{ cm}^{-1}$

$B_{\max} = 5,200 \text{ cm}^{-1}$

Or $B = 1/f' = (5,06 \pm 0,14) \text{ cm}^{-1}$

On retrouve : **$f' = (19,76 \pm 0,1) \text{ cm}$**

Le coefficient directeur de la droite est :

$A_{\min} = 0,8805$

$A_{\max} = 0,9860$

On retrouve : **$A = (0,93 \pm 0,05)$**

Nos mesures sont en adéquation avec la formule de conjugaison de Descartes.

On retrouve donc bien un coefficient directeur proche de 1 et une ordonnée à l'origine dont l'inverse correspond à la valeur de la focale de la lentille étudiée.

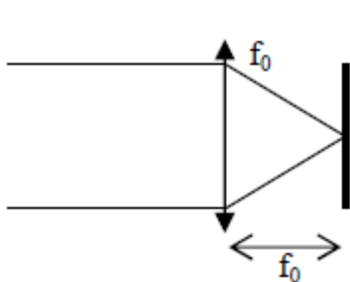
J'ai comparé la valeur de la focale avec celle mesuré en préparation par la méthode d'auto-collimation.

III – Modélisation de l'oeil, principe de la loupe (Sextant p.27, Journeaux p.340)

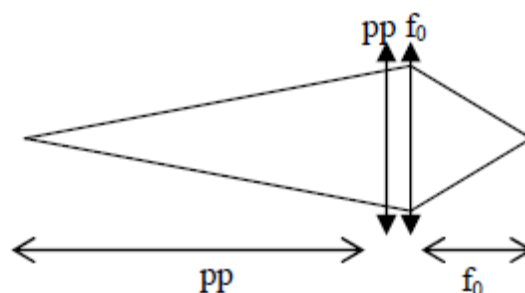
On travaille maintenant sur banc d'optique (petits bancs Jeulin). On utilisera comme objet un « F » diffusant. On modélise un oeil avec une lentille convergente (cristallin) placé à distance fixe d'un écran (rétine). Certains supports permettent de traduire l'ensemble en gardant cette distance fixe.

- **Oeil au repos** : illustrez l'observation d'un objet à l'infini (l'objet sera envoyé à l'infini à l'aide d'une lentille convergente réglée par auto-collimation) : l'œil doit être réglé de façon à ce que la distance cristallin – rétine soit égale à la focale du cristallin.

- **Accommodation** : illustrez l'observation d'un objet à distance finie. L'accommodation correspond à une augmentation de la convergence (donc diminution de la focale) du cristallin. Elle sera réalisée expérimentalement en accolant une seconde lentille convergente contre l'oeil (pour réaliser l'accommodation maximale, il faut ajouter une lentille de distance focale égale au *ponctum proximum*, qu'on prendra égal à 25 cm si le matériel disponible le permet ; cette lentille joue le rôle de « lunette de repos ») :



Oeil au repos (voit net à l' ∞)



Oeil accommodant au max (voit net à $pp = 25 \text{ cm}$ (par convention))

• **Oeil myope** : un oeil myope est trop convergent, même au repos. Sa focale au repos est donc plus courte que la distance cristallin - rétine. Réalisez un modèle d'oeil myope simplement en augmentant cette distance par rapport au 1^{er} montage. Mesurez son *ponctum remotum* (l'infini pour un oeil « normal »). Montrez qu'on peut corriger ce défaut en accolant une lentille divergente de focale égale au *ponctum remotum* (il vaut mieux prendre le problème à l'envers : d'abord choisir une lentille divergente en fonction de ce qu'on a sous la main, et réaliser un oeil myope qu'on pourra corriger avec cette lentille ...). (je n'ai pas réussi en manip, à revoir). Mais on peut aussi montrer que le *ponctum proximum* est plus petit en déplaçant l'image jusqu'à ce qu'elle soit nette sur la rétine.

IV – Image formée par un instrument d'optique constitué de plusieurs éléments : rôle des diaphragmes (Duffait d'agreg p.101, Duffait CAPES p.180, Journeaux p.346, Sextant p.42) (Pas testé mais fait au capes)

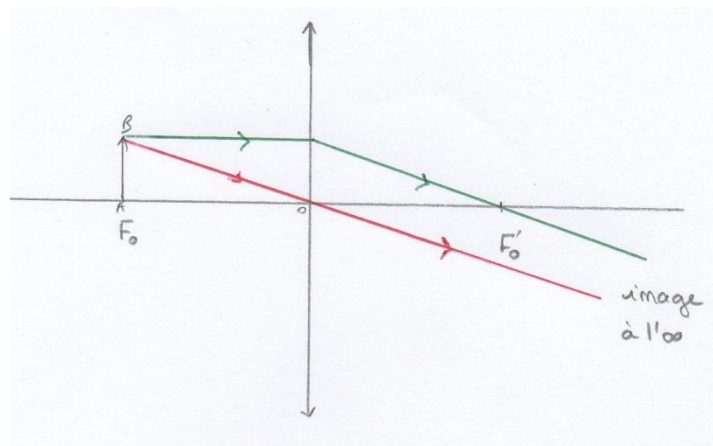
1. Réalisation de la lunette astronomique

a) Réglage de l'objectif à l'infini.

On place l'objet dans le plan focal de la lentille convergente L_0 de telle sorte que l'image soit à l'infini. La distance objet-lentille est réglée à l'aide de la méthode par autocollimation :

- l'objet reste fixe et est éclairé sous toute sa surface par la lampe
- on accole un miroir derrière la lentille
- on éloigne progressivement l'ensemble lentille+miroir jusqu'à ce que l'image formée sur la monture soit nette.

$L_0 : f' = 10 \text{ cm}$



b. Réglage de l'œil fictif au repos

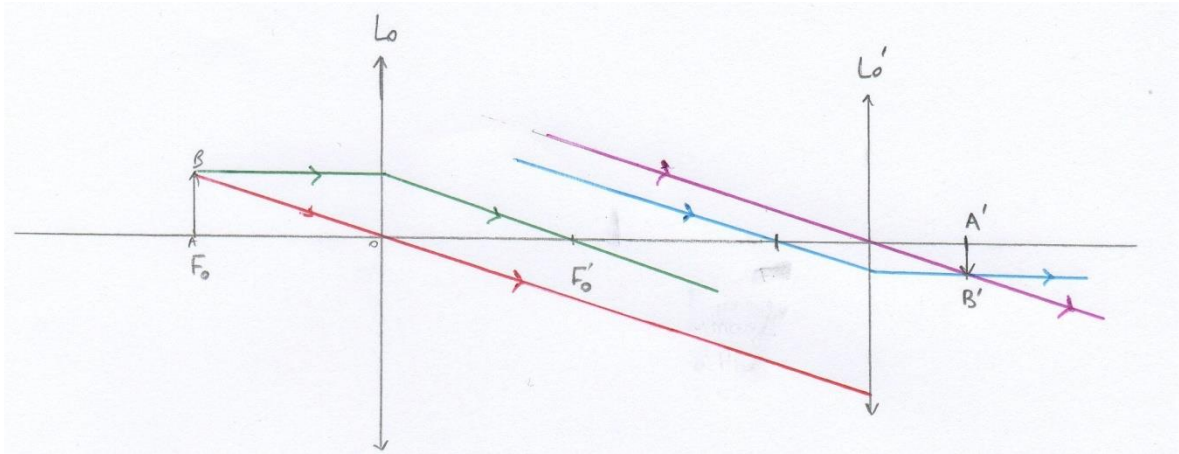
L'œil est constitué d'un écran jouant le rôle de la rétine et d'une lentille convergente L_3 simulant le cristallin.

On déplace l'écran sur le banc optique jusqu'à obtenir l'image nette de la lentille par L_3 .

$L_3 : f' = 15 \text{ cm}$

Mesurer la taille de l'image $A'B'$ obtenue sans la lunette.

$A'B' = 0,45 \pm 0,05 \text{ cm}$



c. Réglage de la lunette astronomique

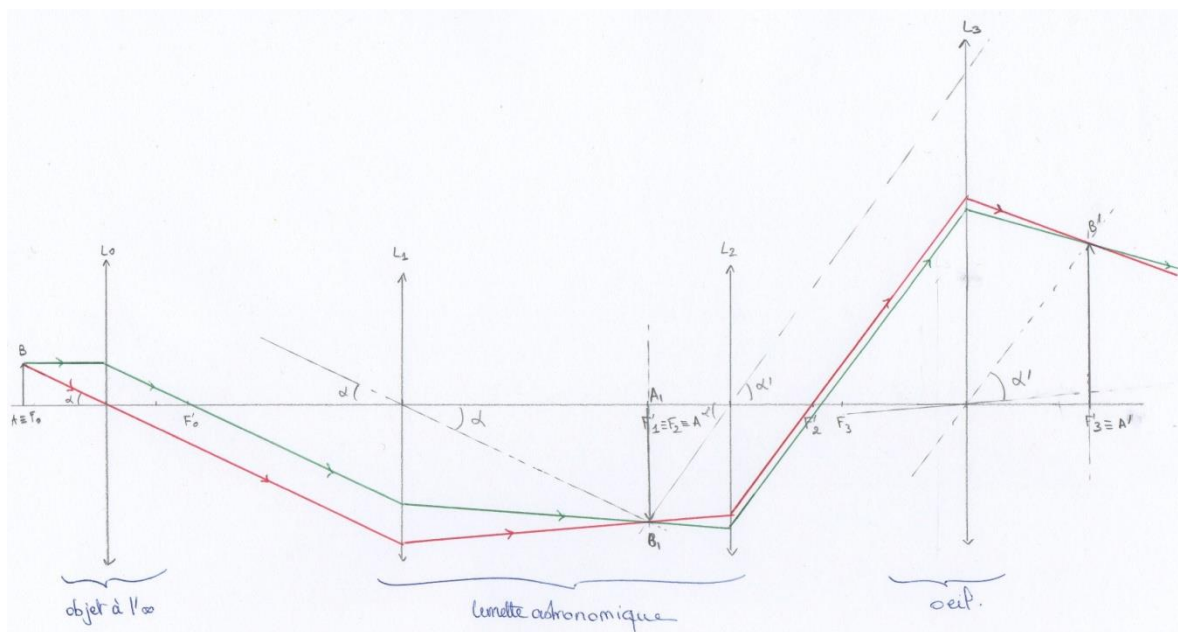
La lunette est constituée de deux lentilles convergentes L_1 ($f_1'=30$ cm) et L_2 ($f_2'=10$ cm)

On place L_1 (objectif) de façon aléatoire mais assez proche de la lentille L_0 afin de récupérer un maximum de lumière sur l'objectif.

On place L_2 (oculaire) de façon à obtenir une image nette sur notre œil fictif.

$L_1 : f_1'=30$ cm

$L_2 : f_2'=10$ cm



2. Détermination du grossissement G

Le grossissement noté G est défini par : $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$

α' est l'angle sous lequel on voit l'image d'un objet à travers l'instrument. α est l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu.

a. Calcul avec les distances focales.

D'après le schéma du I/ 2), on peut écrire : $\tan \alpha = \frac{A_1 B_1}{f'_1}$ et $\tan \alpha' = \frac{A_1 B_1}{f_2}$. On considère que les angles sont très petits, on peut donc faire l'approximation : $\alpha = \tan \alpha$ et $\alpha' = \tan \alpha'$. On obtient l'expression suivante pour le grossissement :

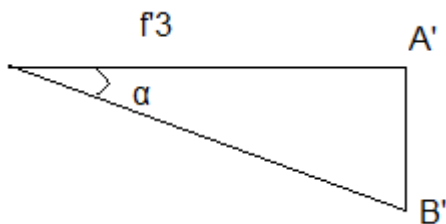
$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f'_1}{f_2} = 3$$

3 sera donc considéré comme le grossissement théorique de cette lunette.

Rq : Remesurer en préparation par autocollimation les valeurs des deux focales. → Incertitudes

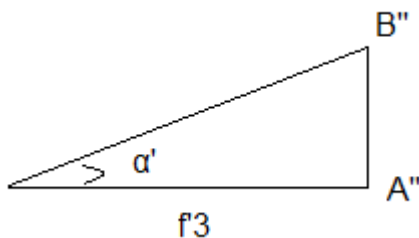
b. Mesure directe

A l'œil nu, l'image formée $A'B'$ est telle que :



$$\tan \alpha = \frac{A'B'}{f'_3}$$

A travers la lunette astronomique, l'image formée $A''B''$ est telle que :



$$\tan \alpha' = \frac{A''B''}{f'_3}$$

Avec la même approximation que précédemment, on peut donc en déduire une expression du grossissement G :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} = \frac{A''B''}{f'_3} \frac{f'_3}{A'B'} = \frac{A''B''}{A'B'}$$

Il ne nous reste plus qu'à mesurer la taille de l'image $A''B''$ obtenue avec la lunette.

$$A''B'' = 1,40 \pm 0,05 \text{ cm}$$

$$\text{D'où } G = 3,1 \pm 0,5$$

$$\text{Avec } \Delta G = G \left(\frac{\Delta A''B''}{A''B''} + \frac{\Delta A'B'}{A'B'} \right)$$

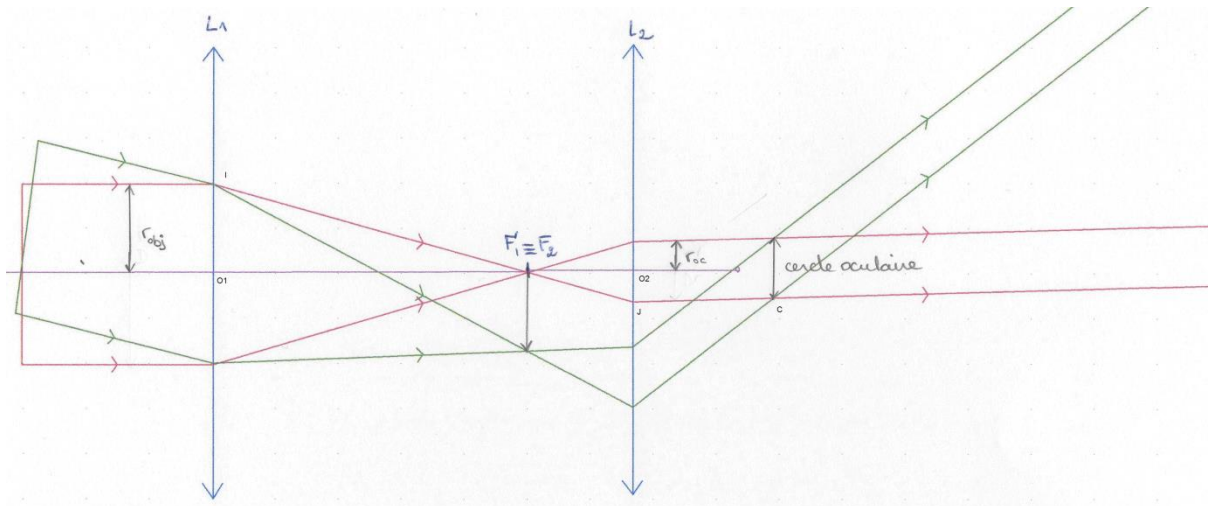
$$\text{Incertitude relative : } \frac{\Delta G}{G} \approx 16\%$$

c. Mesure à l'aide du cercle oculaire

L'intérêt de la lunette astronomique est de collecter un maximum de lumière et en plus d'augmenter le diamètre apparent des objets que l'on observe.

Le cercle oculaire est l'image de la monture de l'objectif à travers l'oculaire. Il constitue donc la portion la plus étroite du faisceau émergent. C'est l'endroit où on doit mettre la pupille de l'œil pour avoir le champ maximum et la luminosité optimale. Nous allons chercher sa position.

Pour cela on cherche la figure du cercle oculaire la plus nette et lumineuse possible sur l'écran.



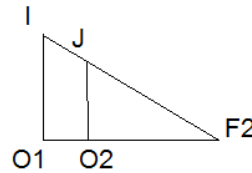
On note son diamètre : $D_{oc} = 1,20 \pm 0,05 \text{ cm}$

On note ensuite le diamètre de l'objectif : $D_{obj} = 3,60 \pm 0,05 \text{ cm}$

On applique

le théorème de Thalès aux triangles F_2O_1I et

$$\frac{O_2J}{O_1I} = \frac{F_2O_2}{F_2O} \Leftrightarrow \frac{r_{oc}}{r_{obj}} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{1}{G}$$



F_2O_2J

$$G = \frac{r_{obj}}{r_{oc}} = \frac{D_{obj}}{D_{oc}} = 3,0 \pm 0,2$$

Avec $\frac{\Delta G}{G} = \frac{\Delta r_{obj}}{r_{obj}} + \frac{\Delta r_{oc}}{r_{oc}}$

Incertitude relative : $\frac{\Delta G}{G} \approx 7\%$

Tableau récapitulatif :

	Grossissement	Incertitude relative
Focales		
Mesure directe		
Cercle oculaire		

Conclusion :

Question :

- De la méthode d'auto-collimation et celle de la régression linéaire, laquelle est la plus précise ?
- Pourquoi avoir fait pente max – pente min pour estimer l'incertitude ?
- Comment améliorer la qualité des images, notamment avec la lunette astronomique ? utilisation d'un diaphragme
- Comment fonctionne la vision des couleurs ? J'ai parlé des cônes et des bâtonnets
- Quel est le grossissement des lunettes astronomiques commerciales ?
- Quelle est la différence entre lunette et télescope ?

Note : 12/20