I- Matériel disponible.

- Un banc d'optique avec accessoires : Une lanterne avec la lettre « **F** », deux supports pour lentille, un porte écran, un miroir plan, un écran.
- Lentilles minces marquées :
- L'œil réduit (tubes en carton).
- Transparent, translucide uni, jeu de diaphragme, œil réduit.

II- La lunette Astronomique.

1)- Description et schéma..

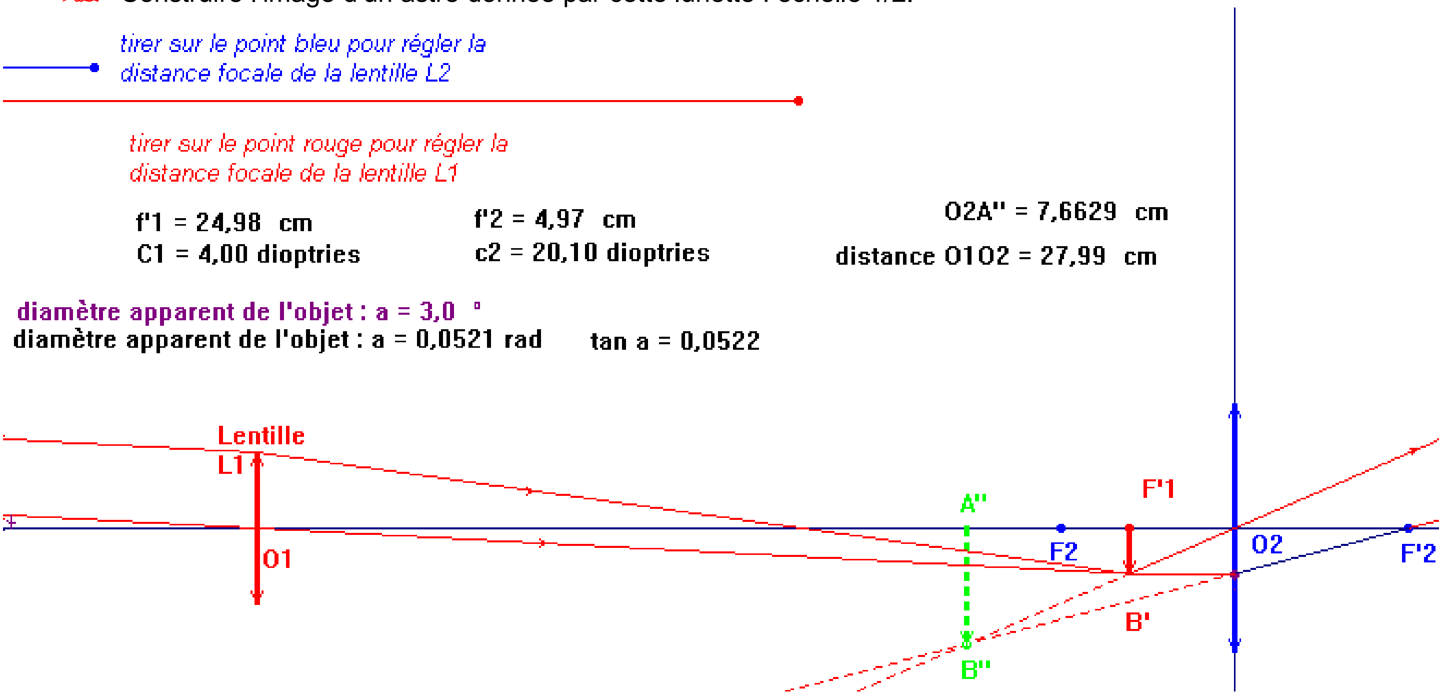
Une lunette astronomique est formée de deux systèmes convergents :

- L'objectif qui donne d'un objet éloigné une image dans son plan focal image,
- Un oculaire qui joue le rôle de la loupe.
- Remarque : l'œil observe l'image donnée par l'objectif par l'intermédiaire de l'oculaire.

2)- Construction des images.

- On modélise l'objectif et l'oculaire par deux lentilles minces convergentes.
- Matériel : Lentille $\mathbf{L_1}$: $\mathbf{f'_1}$ = 250 mm ; Lentille $\mathbf{L_2}$: $\mathbf{f'_2}$ = 50 mm
- Distance entre les deux lentilles : $\mathbf{O_1O_2}$ = 280 mm ; angle sous lequel l'Astre est vu à l'œil nu : θ = 3 °.
- Remarque : on appelle diamètre apparent, l'angle sous lequel l'astre est vu à l'œil nu. Il s'exprime en radian.

Construire l'image d'un astre donnée par cette lunette : échelle 1/2.



3)- Question : Comment doit-on régler le dispositif pour que l'œil observe sans fatigue l'image finale A''B'' ?

Si l'on veut que l'œil n'accommode pas, l'image A''B'' doit se trouver au Punctum Remotum de l'observateur. Si l'observateur possède une vue normale, alors l'image A''B'' se trouve à l'infini. En conséquence, $\mathbf{F'_1}$ et $\mathbf{F_2}$ sont confondus : on dit que la lentille est afocale.

III- Lunette Afocale.

1)- Définition.

Une lunette est afocale lorsque le foyer principal image de l'objectif coïncide avec le foyer principal objet de l'oculaire.

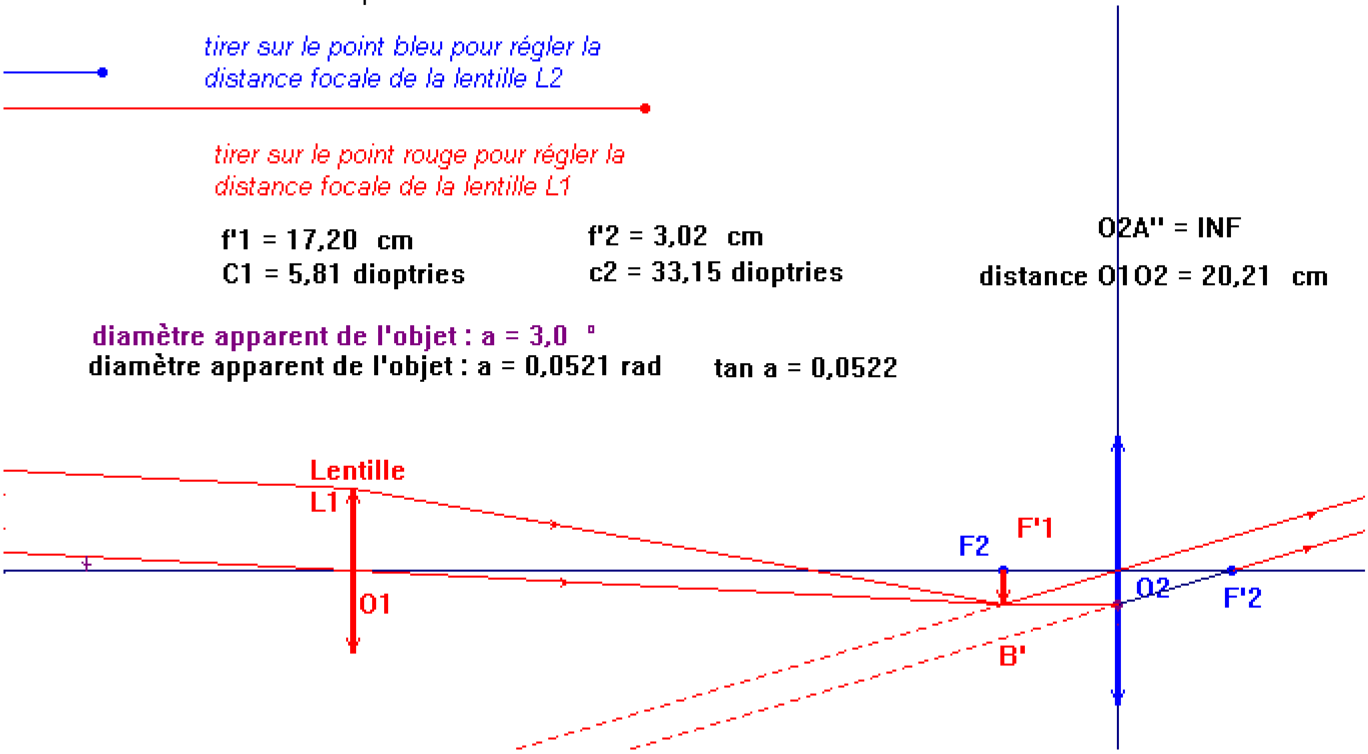
2)- Construction d'une lunette afocale.

- Matériel : Lentille $\mathbf{L_1}$: $\mathbf{f'_1}$ = 172 mm ; Lentille $\mathbf{L_2}$: $\mathbf{f'_2}$ = 30 mm ; tubes en carton.

Manipulation :

- Mesurer les distances focales des deux lentilles par la méthode de votre choix.
- Choisir celle qui a la plus grande distance focale comme objectif.
- Observer un objet très éloigné (paysage : le campanile).

- Déplacer le papier calque de manière à obtenir une image nette intermédiaire.
- Observer l'image définitive à travers l'oculaire. La mise au point s'effectue en déplaçant l'oculaire seul.
- Quels défauts constatez-vous concernant cette image ?
- Quelle est la relation entre ℓ, distance entre les deux lentilles et les distances focales $\mathbf{f'_1}$ et $\mathbf{f'_2}$.
- Faire un schéma du dispositif :

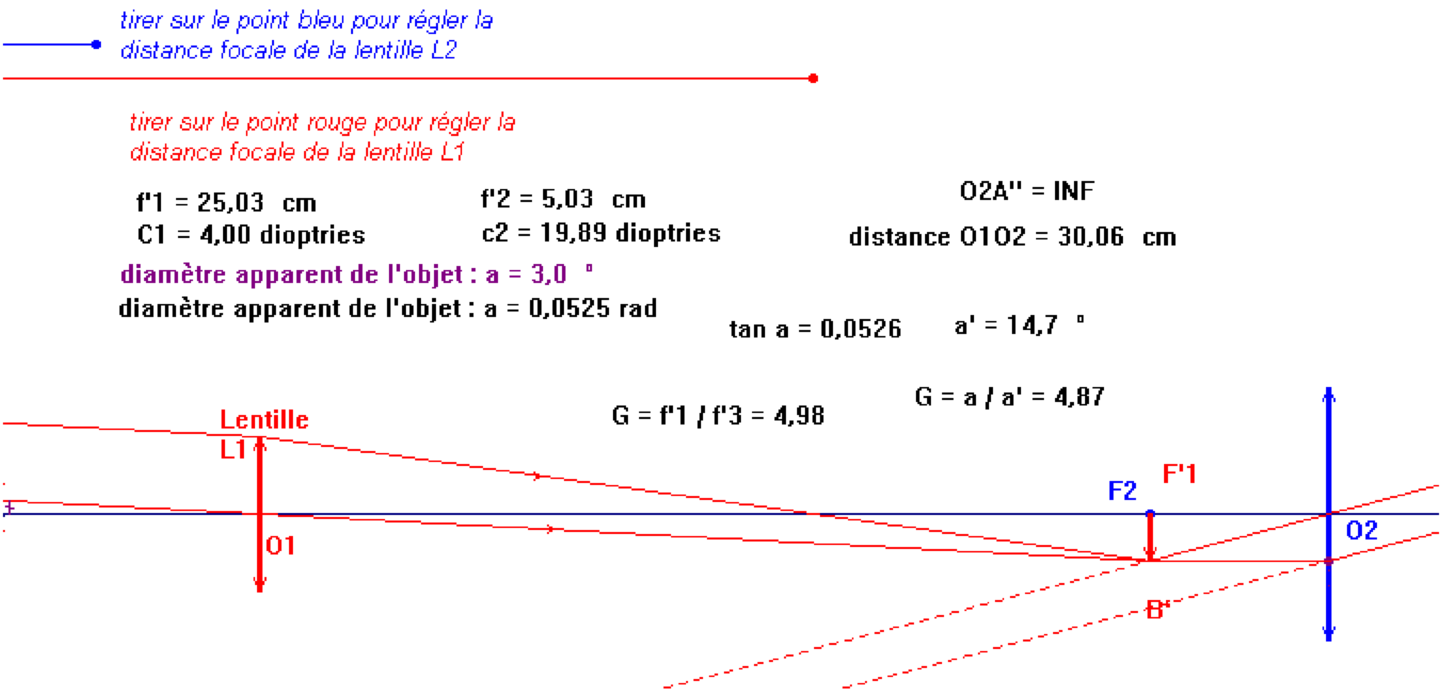


3)- Mesure du grossissement d'une lunette afocale.

- Matériel : Lentille $\mathbf{L_1}$: $\mathbf{f'_1}$ = 250 mm ; Lentille $\mathbf{L_2}$: $\mathbf{f'_2}$ = 50 mm. Pour simuler un objet à l'infini, on peut utiliser un objet fortement éclairé, placé dans le plan focal objet d'une lentille auxiliaire : $\mathbf{L}$: $\mathbf{f'}$ = 100 mm.

✍ Déterminer à l'aide de l'œil modélisé :

- L'angle $\boldsymbol{\theta'}$ sous lequel est vue l'image de l'objet à travers la lunette. Pour cela mesurer la taille de l'image obtenue sur l'écran de l'œil modélisé. On utilise le fait que $\boldsymbol{\theta'}$ est petit en rad : $\tan\theta' \approx \theta'$
- L'angle $\boldsymbol{\theta}$ sous lequel est vue l'objet. Pour cela mesurer la taille de l'image obtenue sur l'écran de l'œil modélisé. On utilise le fait que $\boldsymbol{\theta}$ est petit en rad : $\tan\theta \approx \theta$.
- En déduire le grossissement $\mathbf{G}$ de la lunette sachant que $\mathbf{G} = \dfrac{\theta'}{\theta}$. Comparer la valeur obtenue au rapport $\dfrac{\mathbf{f'_1}}{\mathbf{f'_2}}$.

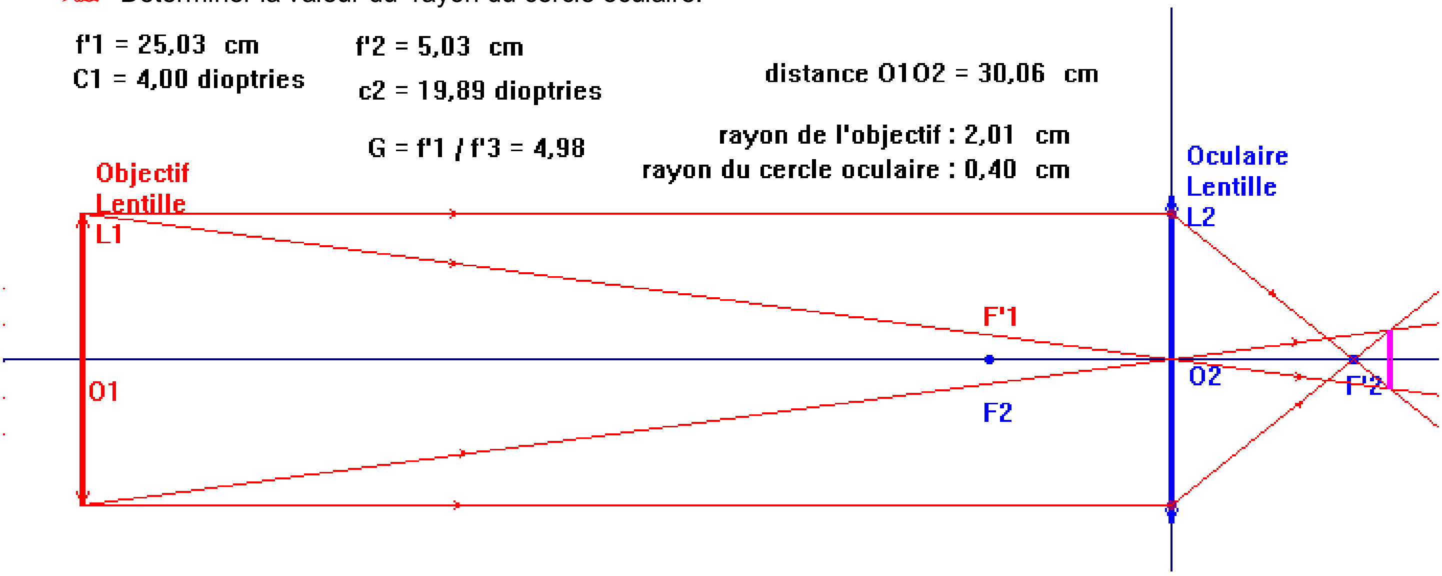


4)- Le cercle oculaire.

Le cercle oculaire est l 'image, de l'objectif diaphragmé, donnée par l'oculaire. Pour que l'œil reçoive le maximum de lumière, il doit être placé à son voisinage.

Faire un schéma et représenter le cercle oculaire dans le cas d'une lentille afocale.

Déterminer la valeur du rayon du cercle oculaire.



5)- Le flux lumineux.

- La lunette astronomique est un collecteur de lumière. Le flux lumineux ϕ qui entre dans la lunette est proportionnel à l'aire du diaphragme de l'objectif de diamètre $\mathbf{D}$: $\phi = \alpha \cdot \mathbf{D}^2$ unité : W.m^{-2}.
- Le flux ϕ' qui parvient dans le cercle oculaire dépend de ϕ : $\phi' = \tau \cdot \phi$
- avec τ : coefficient de transparence τ <1.
- Le flux ϕ' est collecté par l'œil. Le rayon du cercle oculaire est inférieur à celui de la pupille.
- En l'absence d'instrument, le flux lumineux dans le cercle oculaire : $\phi_0 = \alpha \cdot \mathbf{a}^2$
- Avec l'instrument $\phi' = \tau \cdot \phi = \tau \cdot \alpha \cdot \mathbf{D}^2$.

- On peut exprimer le gain : $\begin{cases} g = \dfrac{\phi'}{\phi_0} = \dfrac{\tau \cdot \alpha \cdot \mathbf{D}^2}{\alpha \cdot \mathbf{a}^2} = \tau \cdot \dfrac{\mathbf{D}^2}{\mathbf{a}^2} \\ \text{or } \dfrac{\mathbf{D}}{\mathbf{a}} = \dfrac{\mathbf{f'}_1}{\mathbf{f'}_2} \end{cases} \Rightarrow \mathbf{g} = \tau \cdot \mathbf{G}^2$
- La lunette permet un gain important du flux lumineux car il est proportionnel au carré du grossissement.

IV- Application.

La lunette de Galilée.

Cet exercice a pour but de montrer quelques éléments de la réalisation et de l'étude d'un modèle simple d'une lunette de GALILÉE. Un texte extrait d'un article d'une revue de vulgarisation, présente cet instrument et comporte des indications utiles pour la résolution de l'exercice.

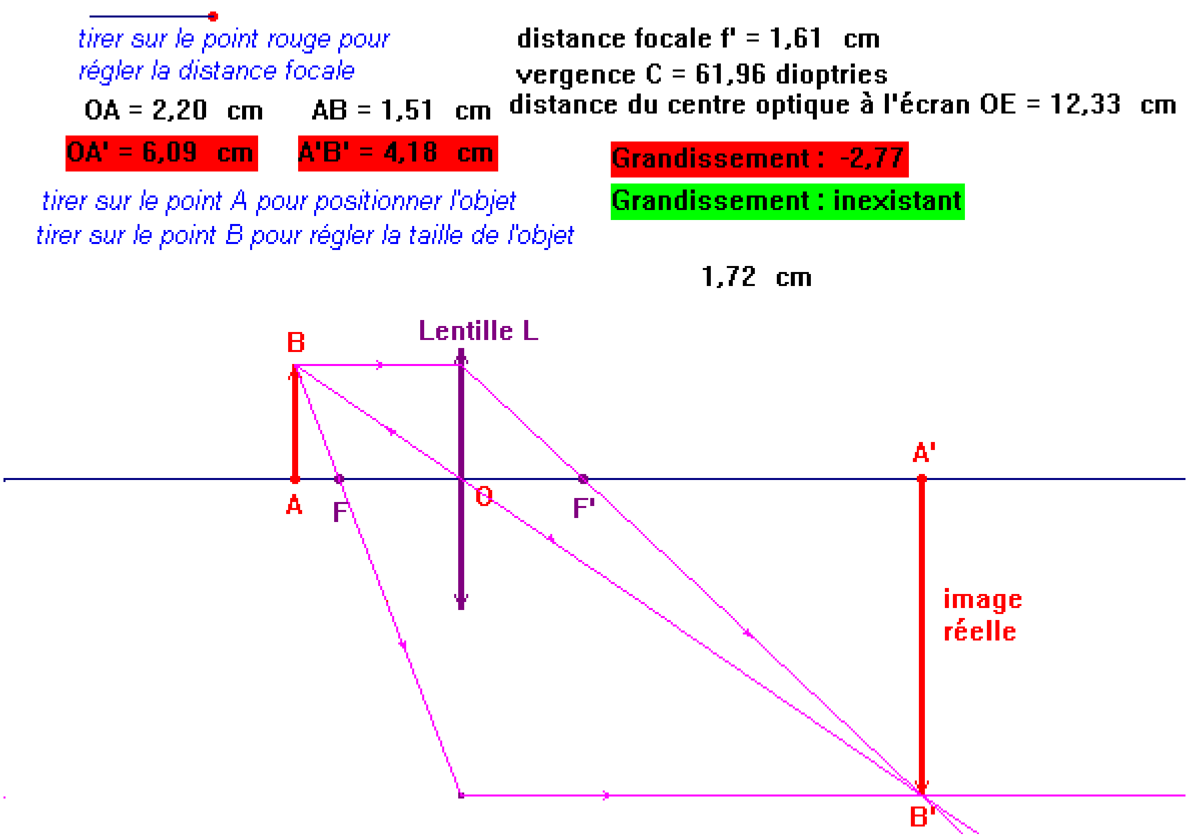
Texte

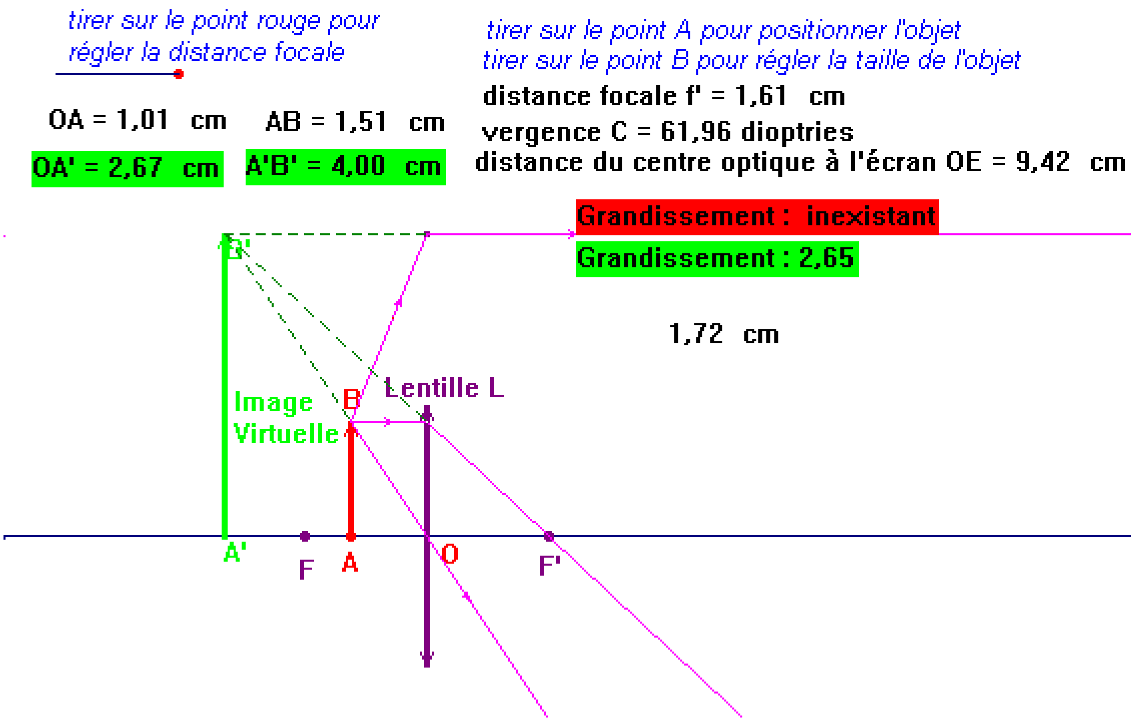
L'instrument est formé d'un tube qui porte à l'une de ses extrémités un objectif convergent et à l'autre un oculaire divergent. Cet instrument est utilisé pour grossir les objets lointains.
L'objectif convergent, presque toujours est une simple lentille, donne d'un objet à l'infini une image dans son plan focal. Un oculaire divergent, convenablement placé, en donne finalement une image à l'infini dont l'œil de l'observateur forme une image sur sa rétine. Comme pour toutes les lunettes visant à l'infini, le grossissement est égal en valeur absolue, au rapport de la distance focale de l'objectif à celle de l'oculaire. On le limite en général à 5 ou 6. L'un des avantages de ce type de lunette est que l'image est droite et non renversée comme c'est le cas quand l'oculaire est convergent.

1)- Détermination de la distance focale de l'objectif.

On se propose de déterminer la valeur de la distance focale de la lentille convergente constituant l'objectif en utilisant la formule de conjugaison des lentilles minces avec comme matériel : un banc d'optique comportant un objet lumineux, un écran et la lentille étudiée. La figure 1 donne le schéma d'un montage possible avec deux positions différentes de l'objet.

a)- Une seule des deux positions permet la détermination par la méthode décrite ci-dessus. Laquelle ? Justifier la réponse par une simple phrase.





Pour avoir une image réelle avec une lentille convergente, il faut que l'objet soit situé avant le foyer de celle-ci. C'est la figure 1a qui convient. La figure 1b donne de l'objet une image virtuelle.

b)- Sur le schéma choisi, construire l'image de l'objet AB et tracer le faisceau lumineux issu de B et s'appuyant sur le contour de la lentille.

Schéma : pour réaliser le schéma, on trace les rayons remarquables : celui issu du point B, qui passe par l'axe optique sans être dévié. Celui issu de B, qui est parallèle à l 'axe optique et qui émerge de la lentille en passant par le foyer image F'.

c)- Indiquer les grandeurs à mesurer pour déterminer la distance focale de la lentille.

Pour déterminer la distance focale, on utilise la relation de conjugaison, valable pour les lentilles minces

$$\frac{1}{\overline{OF}} = -\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OA'}}$$

$$\frac{1}{\overline{OF}} = \frac{\overline{OA} - \overline{OA'}}{\overline{OA} \cdot \overline{OA'}}$$

$$\overline{OF} = \frac{\overline{OA} \cdot \overline{OA'}}{\overline{OA} - \overline{OA'}}$$

La connaissance des mesures algébriques $\overline{OA}$ et $\overline{OA'}$ suffit pour déterminer la distance focale de la lentille

d)- Le fait de diaphragmer le faisceau lumineux arrivant sur une lentille permet d'obtenir une plus grande profondeur de champ. Est-il pertinent de diaphragmer lorsqu'on effectue une mesure de distance focale ? Justifier la réponse.

Il ne faut pas diaphragmer car si on diaphragme, on augmente la profondeur de champ et il sera difficile de déterminer la position de l'image. L'image paraît nette sur une plus grande distance.

2)- Détermination de la distance focale de l'oculaire.
On se propose maintenant de déterminer la valeur de la distance focale de la lentille divergente constituant l'oculaire. De la lunette. L'utilisation de la méthode précédente, avec le matériel indiqué, ne permettant pas de réaliser cette détermination, on accole à la lentille divergente étudiée une deuxième lentille de vergence **C'** connue.

a)- Dire, en le justifiant, parmi les valeurs suivantes de **C'** : **- 27 δ, -21 δ, -8 δ** , **8 δ** , **21 δ**, **27 δ**, celles qui permettent, en théorie, de déterminer la distance focale d'une lentille divergente de vergence **C** voisine de **- 20 δ** ?

Pour déterminer la distance focale de la lentille divergente, en utilisant la relation de conjugaison, on accole à cette lentille divergente une lentille convergente de manière à obtenir un système optique assimilable à une lentille convergente.

Si C est la vergence de la lentille divergente, alors $C < 0$ et C', la vergence de la lentille convergente : $C' > 0$.

L'association se comporte comme une lentille de vergence $C_E = C + C'$.

Si on veut que l'association se comporte comme une lentille convergente, il faut que $C_E > 0$, en conséquence :
$C' > - C$

Comme **C** est de l'ordre de $-20\ \delta$, $C' > 20\ \delta$. On peut choisir comme lentille : $C' = 21\ \delta$. ou $C' = 27\ \delta$.

b)- Parmi les valeurs retenues, préciser, sans calcul mais en le justifiant, quelle est la seule qui conviendrait si on dispose d'un banc d'optique d'une longueur **L** = 1,80 m.

Lentille convergente à utiliser .

Si on prend $C' = 21\ \delta$, $C_E = 1\ \delta$, en conséquence la distance focale de l'association est de 1 m.

Pour obtenir une image réelle, l'objet doit être situé avant **F**.En conséquence **OA** > 1 m. D'autre part, l'image est située après le foyer image : **OA'** > 1 m. La distance **AA'** est supérieure à deux mètres (deux fois la distance focale). Le banc d'optique n'est pas assez long.

Si on prend $C' = 27\ \delta$, $C_E = 7\ \delta$, la distance focale de l'association est de 14,3 cm.

La distance **AA'** > 28,6 cm (deux fois la distance focale). La longueur du banc d'optique sera suffisante.

3)- Étude de la lunette de Galilée.

La figure 2 propose deux schémas. Un seul permet de représenter une lunette de Galilée fonctionnant suivant les indications du texte.

a)- Dire quel est le bon schéma en indiquant pourquoi il convient et pourquoi l'autre ne convient pas. Placer sur ce schéma les foyers F_2 et F'_2 de la lentille L_2 et tracer la marche d'un rayon lumineux incident parallèle à l'axe optique.

Choix du schéma de montage.

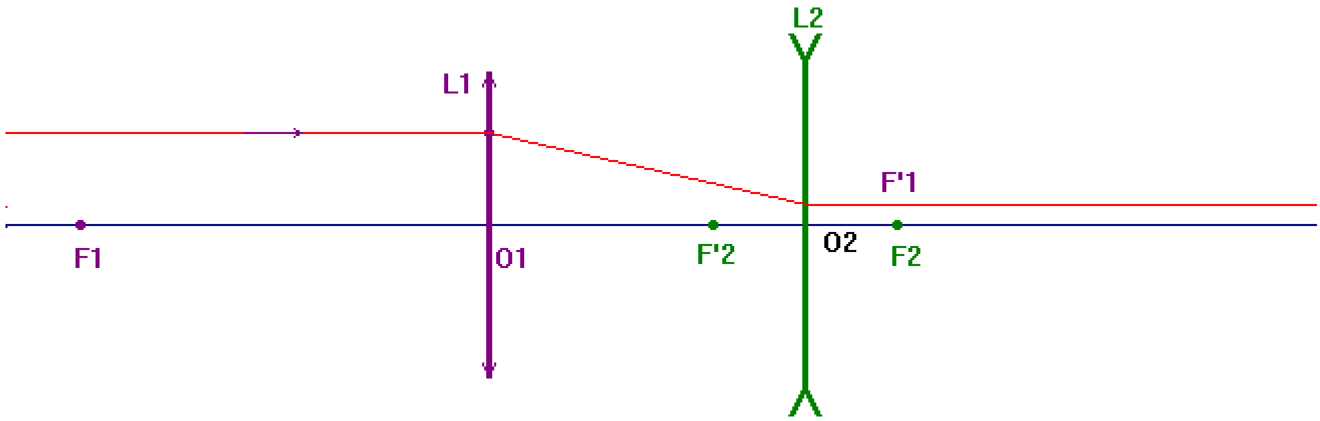
L'objectif qui est constitué d'une lentille mince convergente donne d'un objet situé à l'infini une image située dans le plan focale image. Le point A', image de l'objet A situé à l'infini, est confondu avec le point F'_1 (foyer image de la lentille L_1).

Pour que l'oculaire assimilable à une lentille divergente donne **de A'B'** une image **A''B''** située à l'infini, il faut que **A'B'** soit situé dans le plan focal objet de la lentille L_2.

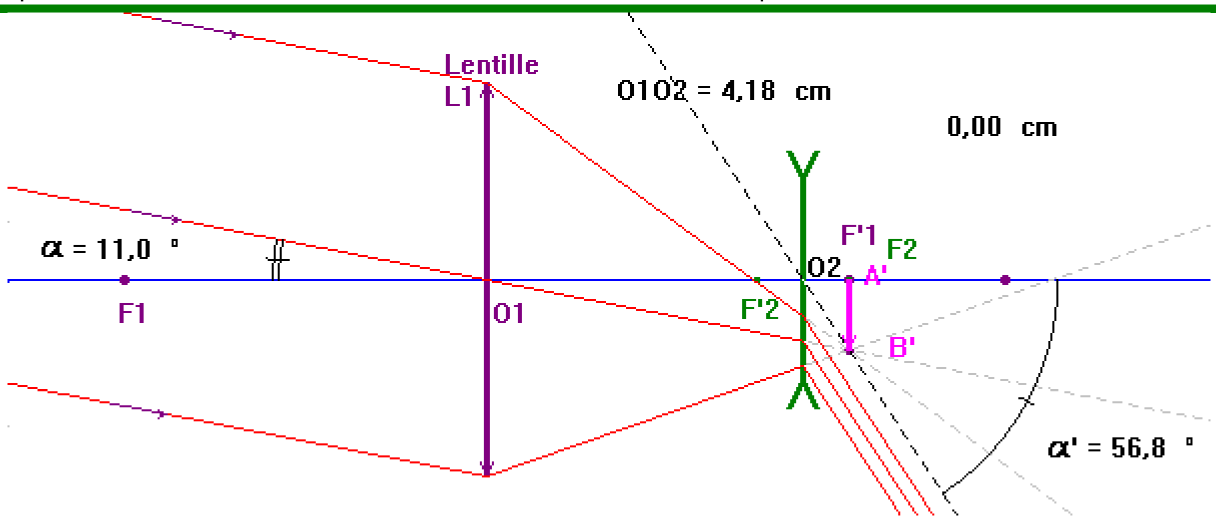
En somme : le foyer image F'_1 de la lentille L_1 est confondu avec le foyer objet F_2 de la lentille L_2.

C'est la figure 2 b qui représente le bon schéma.

Schéma :



b)- Sur la figure 3 (sur laquelle seront placés les foyers), compléter le tracé du faisceau incident.



c)- L'angle α est défini sur le schéma de la figure 3. Soit α' l'angle que fait le faisceau émergent correspondant avec l'axe optique. Par définition le grossissement **G** est donnée par $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$. Établir l'expression qui est proposée dans le texte de l'article de vulgarisation, en considérant que, dans la réalité, les angles α et α' sont petits.

Grossissement de la lunette.

On travaille avec le triangle rectangle : $O_1F'_1B'$.

$$\tan\alpha = \frac{F'_1 B'}{O_1F'_1} = \frac{A'B'}{|f'_1|} \quad \text{car } F'_1 \ , \ A' \text{ et } F_2 \text{ sont confondus}$$

puis avec le triangle O_2F_2B'

$$\tan\alpha' = \frac{F_2B'}{O_2F_2} = \frac{A'B'}{|f'_2|} \quad \text{car } F'_1 \ , \ A' \text{ et } F_2 \text{ sont confondus}$$

Il résulte de ceci, $\frac{\tan\alpha'}{\tan\alpha} = \frac{|f'_1|}{|f'_2|}$ Si les angles α et α' sont petits : $G \approx \frac{\alpha'}{\alpha} \approx \frac{|f'_1|}{|f'_2|}$

Le grossissement est égal en valeur absolue au rapport de la distance focale de l'objectif à celle de l'oculaire.