Licence Science de la Mer et de l'Environnement

Physique Générale

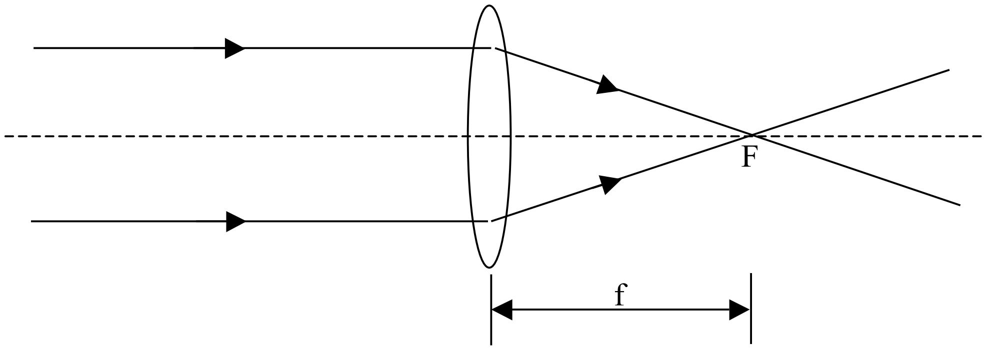
Chapitre 3 :Lentilles et Instruments d'Optique

1- <u>Les différentes lentilles</u>

Nous traiterons ici de lentilles mines, c'est à dire d'épaisseur négligeable. Une lentille est fabriquée avec un matériau transparent : du verre ou des matières plastiques. Les surfaces des lentilles sont sphériques concaves ou convexes, ou même planes.

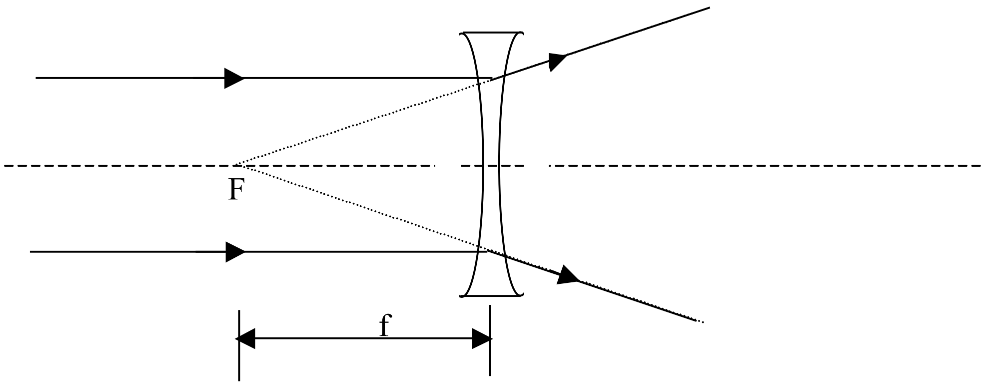
1.1 Lentille convergente

Les rayons lumineux arrivant de l'infini, convergent au point focal.



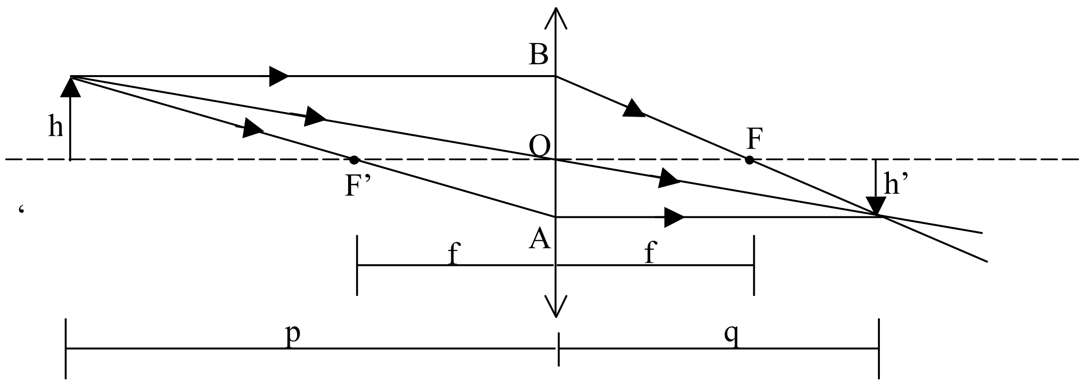
1.2 Lentille divergente

Les rayons lumineux arrivant de l'infini convergent vers un point focal virtuel



2- <u>Construction d'une image</u>

2.1 Lentille mince convergente



L'image obtenue est réelle.

f est la distance focale, c'est à dire la distance où les rayons convergent quand ils viennent de l'infini.

p est la distance entre l'objet et la lentille

q est la distance entre l'image et la lentille

Calcul de la relation entre f, p et q

Dans le triangle de gauche, on obtient :

$$\frac{f}{p}=\frac{OA}{AB} \qquad (1)$$

Dans le triangle de droite, on obtient :

$$\frac{f}{q}=\frac{OB}{AB} \qquad (2)$$

Or $AB=OA+OB \qquad \Rightarrow \qquad OB=AB-OA$

La relation (2) peut s'écrire : $\frac{f}{q}=\frac{AB-OA}{AB}=1-\frac{OA}{AB}=1-\frac{f}{p}$

$$\frac{f}{p}+\frac{f}{q}=1$$

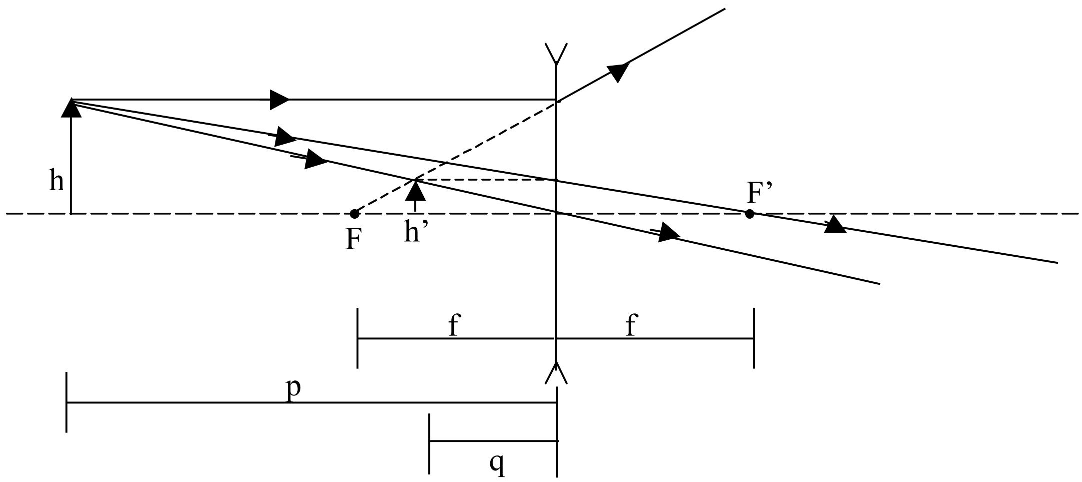
En divisant par f chacun des membres, on obtient :

$$\boxed{\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q}}$$

On calcule facilement le grandissement :

$$\boxed{\gamma=\frac{h'}{h}=-\frac{q}{p}}$$

2.1 Lentille mince divergente



L'image obtenue est virtuelle.

La même relation s'applique ici $\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q}$ avec la seule différence que pour une lentille divergente, f est négatif.

2.3 Généralités

Par choix, le sens de propagation de la lumière dans ces montages va de gauche à droite

Si p>0 si l'objet est devant la lentille
Si p<0 si l'objet est derrière la lentille

q>0 si l'image est derrière la lentille
q<0 si l'image est devant la lentille

f>0 si lentille convergente
f<0 si lentille divergente

Exemple 1

Un objet de 2cm se trouve à 15cm devant une lentille convergente de distance focale 5cm. Calculer la distance de l'image à la lentille et la taille de cette objet.

Calcul de la distance lentille image

$\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q}$ donc $\frac{1}{q}=\frac{1}{f}-\frac{1}{q}$ d'où $q=\frac{fp}{p-f}=\frac{5x15}{15-5}=7{,}5$

$\boxed{q=7{,}5cm}$

Calcul du grandissement

$\gamma=-\frac{q}{p}=-\frac{7{,}5}{15}=-\frac{1}{2}$

$h'=\gamma h=-\frac{1}{2}.2=1$

$\boxed{h'=-1cm}$

L'image est à 7,5cm de la lentille, de 1cm de hauteur, et inversée.

Exemple 2

Un objet de 1cm se trouve à 20cm devant une lentille divergente de distance focale -5cm. Calculer la distance de l'image à la lentille et la taille de cette objet.

Comme précédemment :

$q=\frac{fp}{p-f}=\frac{-5x20}{20+5}=-4$ $\boxed{q=-4cm}$

De même :

$\gamma=-\frac{q}{p}=-\frac{-4}{20}=-\frac{1}{5}$

$\boxed{h'=0.2cm}$

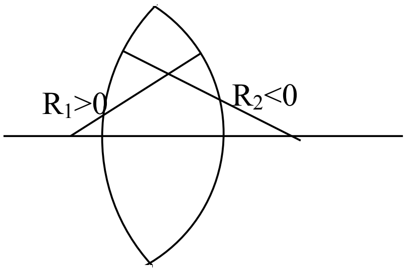
3- Formule des opticiens

Il existe une formule permettant de calculer la distance focale d'une lentille connaissant l'indice du milieu transparent et les rayons de courbure des deux faces.

$$\boxed{\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)}$$

f est la distance focale,
n l'indice de réfraction
$\mathbf{R_1}$ et $\mathbf{R_2}$ les rayons de courbure

R<0 le centre de courbure est devant la lentille
R>0 le centre de courbure est derrière la lentille



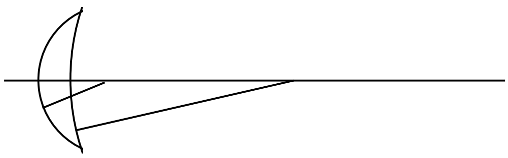
Exemple 1
On construit une lentille avec du verre d'indice n=1,5. Les rayons c
R_1=-4cm et R_2=-12cm. Calculer la distance focale.

$$\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f}=(1,5-1)\left(\frac{1}{-4}-\frac{1}{-12}\right)=0,5.\left(\frac{1}{12}-\frac{1}{4}\right)=-\frac{1}{12}$$

$$\boxed{f=-12cm}$$

C'est donc une lentille divergente.



Exemple 2
On construit une lentille avec du verre d'indice n=1,5. Les rayons de courbure sont :
R_1=10cm et R_2=-10cm. Calculer la distance focale.

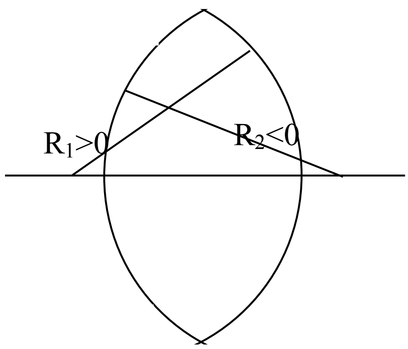
De la même manière :

$$\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f}=(1,5-1)\left(\frac{1}{10}-\frac{1}{-10}\right)=0,5.\left(\frac{1}{10}+\frac{1}{10}\right)=\frac{-1}{10}$$

$$\boxed{f=10cm}$$

C'est donc une lentille convergente



4- Lentilles minces associées

L'inverse de la distance focale $C=\frac{1}{f}$ représente la convergence d'une lentille, elle est exprimée en dioptries. Une dioptrie de 1 correspond à une distance focale de 1m.

On place deux lentilles minces, c'est à dire d'épaisseur négligeable l'une contre l'autre.

Pour la lentille 1, on aura : $\frac{1}{f_1}=\frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}$, et pour la lentille 2 : $\frac{1}{f_2}=\frac{1}{p_2}+\frac{1}{q_2}$

En additionnant membre à membre :

$$\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}=\frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}+\frac{1}{p_2}+\frac{1}{q_2}$$

Or, $p_2=-q_1$

Donc : $\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}=C_1+C_2=\frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_2}$

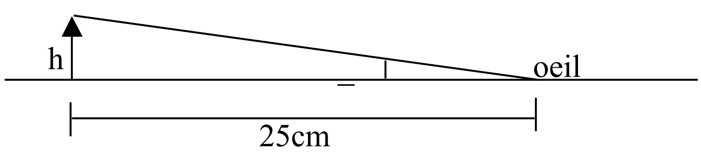
Quand on met deux lentilles minces l'une derrière l'autre ce montage correspond à une seule lentille de puissance somme des puissances des deux lentilles.

5- La loupe

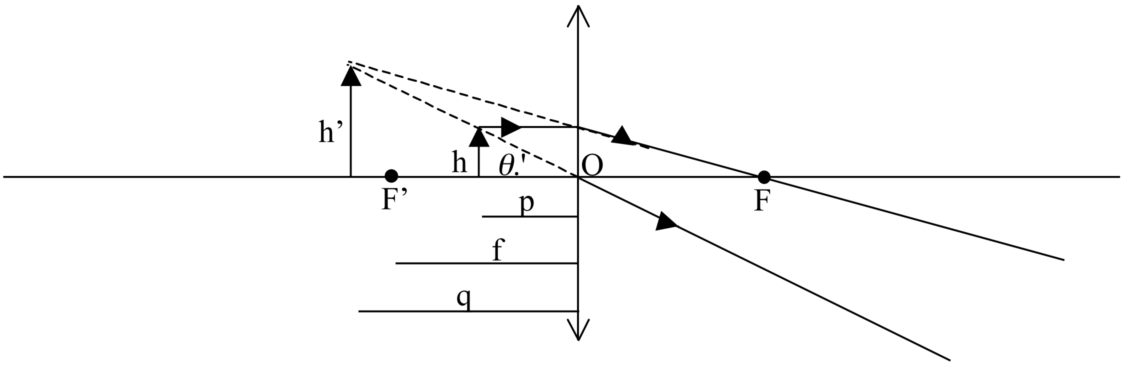
L'œil est capable de changer sa distance focale en modifiant les dimensions du globe oculaire. Cette distance varie d'un individu à l'autre et change avec l'âge. Les enfants sont capables d'avoir une distance focale très faible. Les personnes âgées sont presbytes, ont une distance focale beaucoup plus grande. Pour des questions de normalisation, on suppose que l'œil observe un objet à 25cm.

L'angle sous tendu pour un objet de hauteur **h** est :

$tg\theta \approx \theta = \frac{h}{0.25}$ avec la hauteur **h** exprimée en mètres



Dans le cas de la loupe, on place l'objet à observer entre la lentille et le foyer objet. On suppose que l'œil est plaqué contre la lentille. En appliquant la relation : $\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q}$, on en déduit : $\frac{1}{q}=\frac{1}{f}-\frac{1}{p}$. Puisque p<f, q devient négatif, et l'image se trouve du même côté que l'objet et est virtuelle.



L'image **h'** est vu sous l'angle θ', c'est le même que celui de **h**.

$$tg\theta'=\theta'=\frac{h}{p}=\frac{h'}{q}$$

Le grossissement est le rapport entre l'angle sous lequel on voit l'objet à travers la loupe et celui vu à une distance de 25cm.

$\theta'=\frac{h}{p}$ et $\theta=\frac{h}{0{,}25}$. Le grossissement est donné par $\boxed{G=\frac{\theta'}{\theta}=\frac{0{,}25}{p}}$

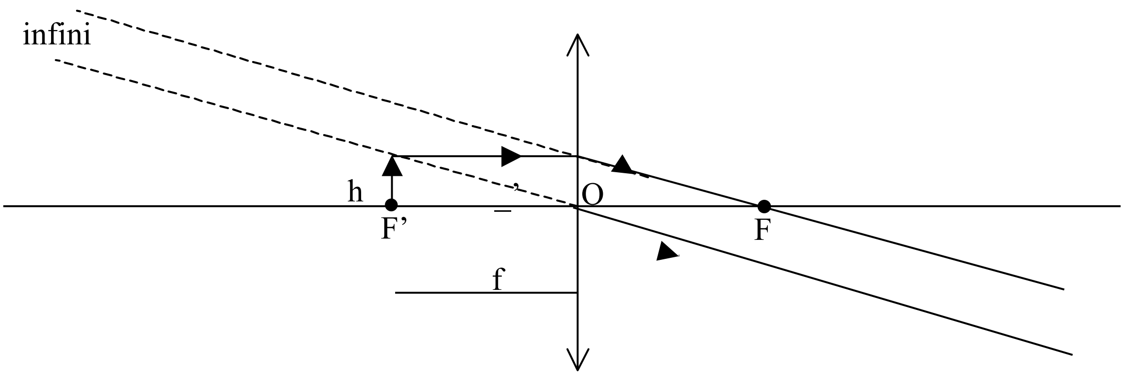
le grossissement est d'autant plus grand que l'objet est près de la lentille.

Remarque : ne pas confondre grossissement qui est angulaire avec grandssement qui est une varaition de taille.

Grosissement commercial

Nous venons de voir que le grossissement ne dépend pas de la distance focale de la lentille, mais de la distance de l'objet à la lentille. Pour pouvoir comparer entre elles des loupes différentes, on suppose que l'objet est placé au foyer de la lentille. L'image se trouve rejetée à l'infini. Dans ce cas, p=f, donc :

$$\boxed{G_{com}=\frac{0{,}25}{f}}$$

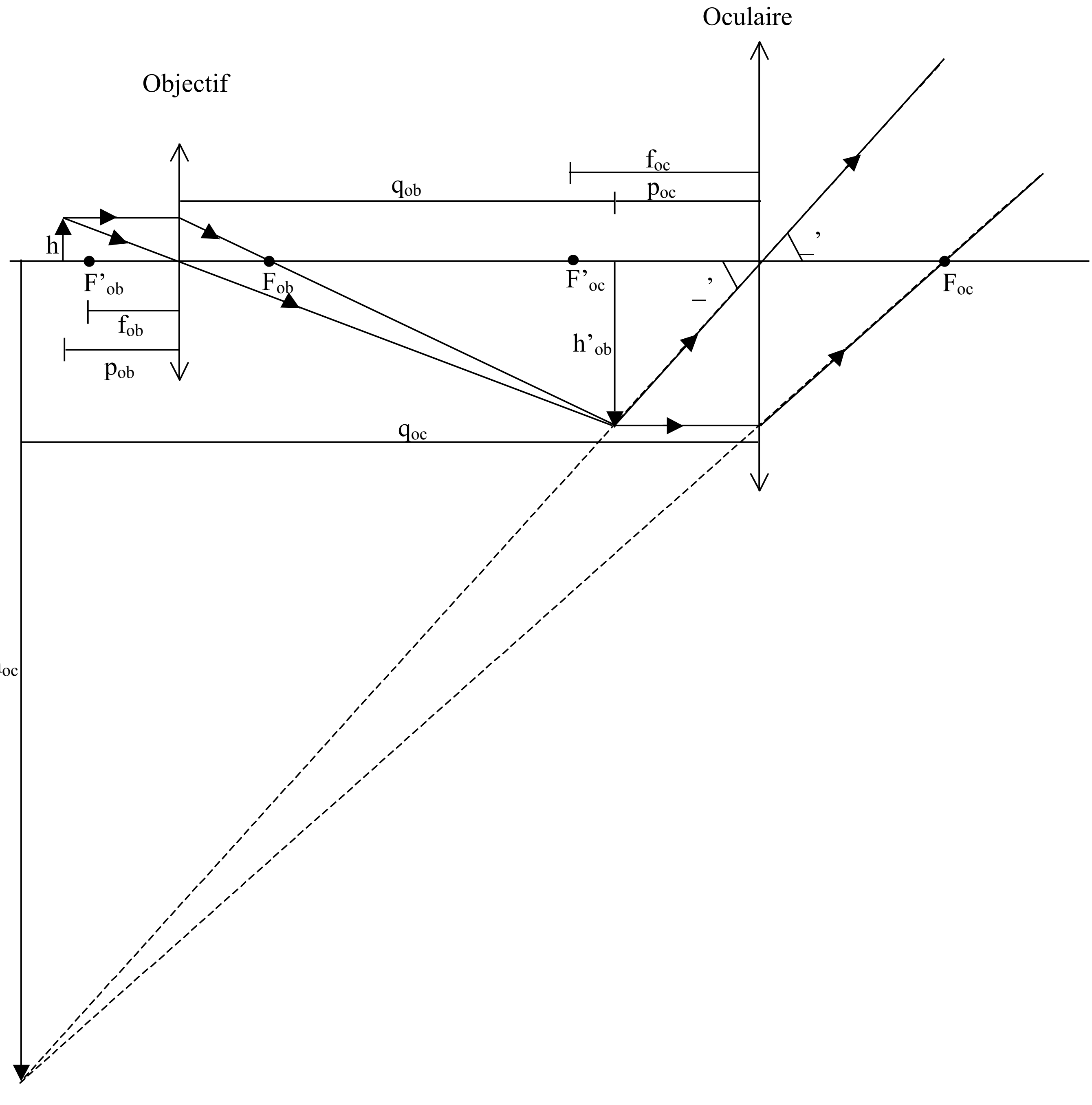


Exemple :

Une loupe a une distance focale de 6cm placée devant une feuille à une distance de 4cm ayant dessus des caractères de 2mm de hauteur. Quel est le grossissement de la loupe ? Quel est le grossissement commercial ?

$$G=\frac{0,25}{p}=\frac{0,25}{0,04}=6,25 \text{ et le grossissement commercial est : } G_{com}=\frac{0,25}{f}=\frac{0,25}{0,06}=4,16$$

6- <u>Le microscope</u>



Avec la lentille objectif : $\frac{1}{f_{ob}}=\frac{1}{p_{ob}}+\frac{1}{q_{ob}}$

Avec la lentille oculaire : $\frac{1}{f_{oc}}=\frac{1}{p_{oc}}+\frac{1}{q_{oc}}$

$\theta'=\frac{h'_{ob}}{p_{oc}}$ et $\theta=\frac{h}{0,25}$

donc le grossissement sera : $G=\frac{\theta'}{\theta}=\frac{h'_{ob}}{p_{oc}}.\frac{0,25}{h}=\frac{h'_{ob}}{h}.\frac{0,25}{p_{oc}}$

Par ailleurs : $\frac{h'_{ob}}{h}=\frac{-q_{ob}}{p_{ob}}$

Donc : $\boxed{G_{com}=-\frac{q_{ob}}{p_{ob}}.\frac{0,25}{p_{oc}}}$

Pour un meilleur confort d'observation, il vaut mieux que l'image soit située à l'infini. Pour cela, il suffit que l'image de l'objet à travers l'objectif se situe au foyer de l'oculaire.

On appelle L la distance entre les deux foyers, c'est la longueur optique.

$\frac{1}{f_{ob}}=\frac{1}{p_{ob}}+\frac{1}{q_{ob}}$ or $q_{ob}=L+f_{ob}$

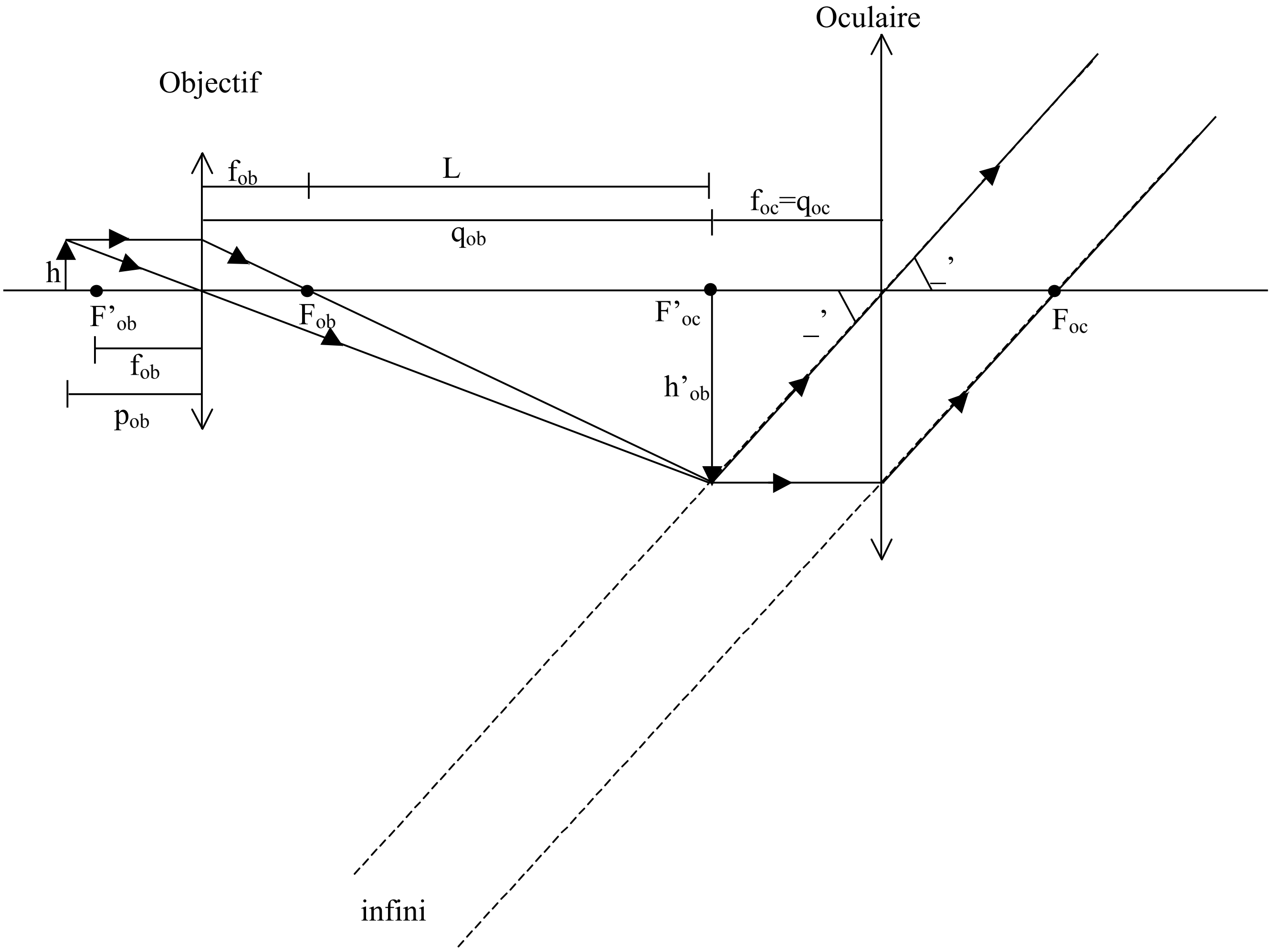
donc : $\frac{L+f_{ob}}{f_{ob}}=\frac{q_{ob}}{p_{ob}}+\frac{q_{ob}}{q_{ob}}$ donc $\frac{L}{f_{ob}}=\frac{q_{ob}}{p_{ob}}$

Comme l'image est à l'infini, $p_{oc}=f_{oc}$ et $q_{oc=\infty}$

Le grossissement est appelé grossissement commercial :

Nous avons vu précédemment que : $G_{com}=-\frac{q_{ob}}{p_{ob}}.\frac{0,25}{p_{oc}}=-\frac{L}{f_{ob}}.\frac{0,25}{f_{oc}}$

$$\boxed{G_{com}=-\frac{L}{f_{ob}}.\frac{0,25}{f_{oc}}}$$



Exemple :

Soit un microscope ayant une distance focale objectif de f_{ob}=2mm, et une distance focale oculaire f_{oc}=3cm. La distance entre les lentilles est D=7cm. On place un objet de 0,1mm de hauteur placé à 2,1 mm de l'objectif. Calculez le grandissement du microscope, et la taille de l'image de l'objet.

$p_{ob}=0{,}21cm$ donc $\frac{1}{q_{ob}}=\frac{1}{f_{ob}}-\frac{1}{p_{ob}}$ d'où, $q_{ob}=\frac{f_{ob}.p_{ob}}{p_{ob}-f_{ob}}=\frac{0{,}2x0{,}21}{0{,}21-0{,}2}=4{,}2cm$

On en déduit : $p_{oc}=D-q_{ob}=7-4{,}2=2{,}8cm$

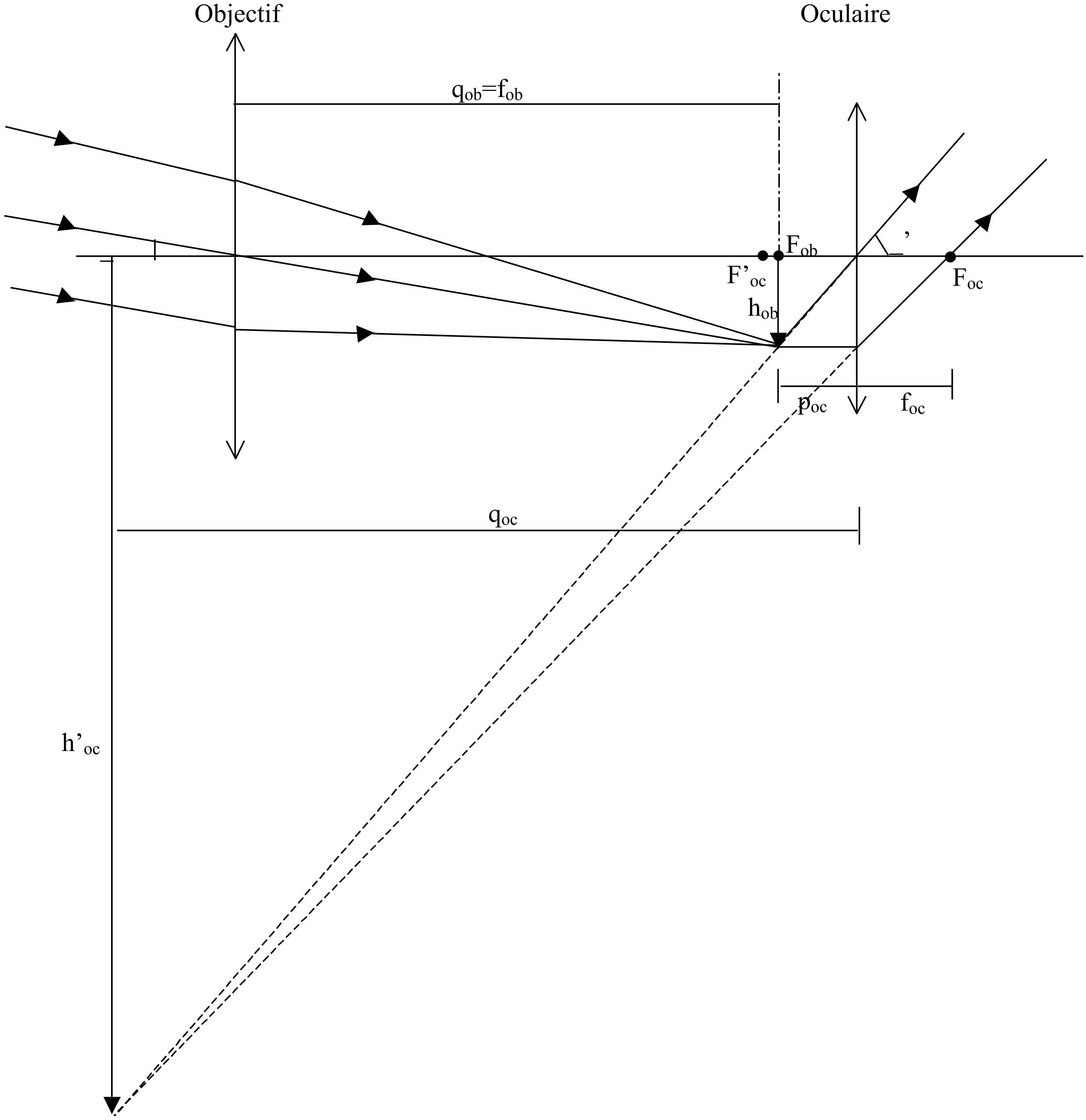
De la même façon pour l'oculaire : $q_{oc}=\frac{f_{oc}.p_{oc}}{p_{oc}-f_{oc}}=\frac{3x2{,}8}{2{,}8-3}=-42cm$

Le grandissement est le produit des deux grandissements. Donc :

$$\gamma=\frac{-q_{ob}}{p_{ob}}.\frac{-q_{oc}}{p_{oc}}=\frac{-4{,}2}{0{,}21}x\frac{-42}{2{,}8}=300$$

Le grandissement est donc de 300, et l'image obtenue est dans le même sens que l'objet et mesure 300x0,01=3cm.

7 - La lunette astronomique



Avec une lunette astronomique, on considère que l'objet, c'est à dire une planète ou une étoile est situé à l'infini.

$$\frac{1}{f_{ob}}=\frac{1}{p_{ob}}-\frac{1}{q_{ob}}$$

Donc $p_{ob}=\infty$. D'où $q_{ob}=f_{ob}$

$\theta'=-\frac{h_{ob}}{p_{oc}}$ et $\theta=\frac{h_{ob}}{f_{ob}}$

Donc le grossissement sera :

$$G=\frac{\theta''}{\theta}=-\frac{h_{ob}}{p_{oc}}\cdot\frac{f_{ob}}{h_{ob}}=-\frac{f_{ob}}{p_{oc}}$$

L’image est plus facile à observer si elle est à l’infini. Donc pour cela il faut $p_{oc}=f_{oc}$
Le grossissement sera donc :

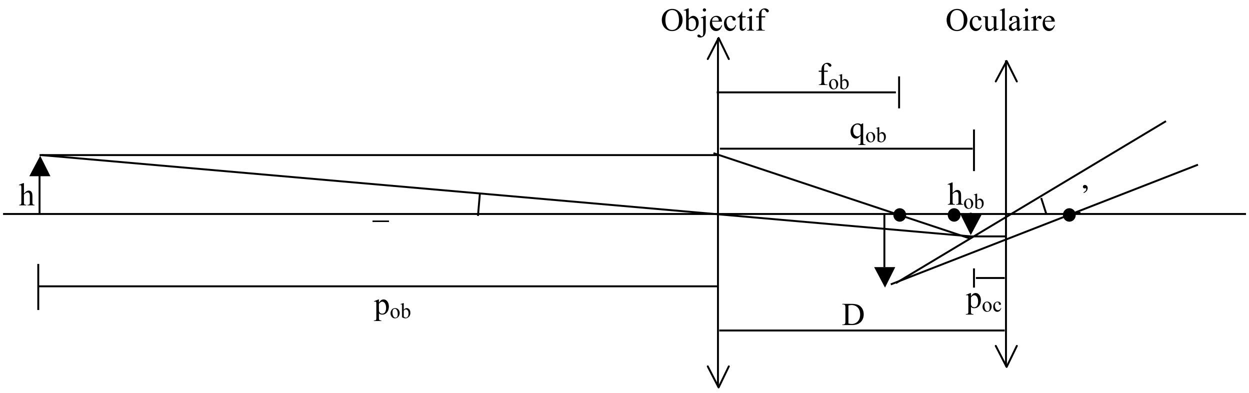
$$\boxed{G=-\frac{f_{ob}}{f_{oc}}}$$

Le grossissement est négatif, ce qui indique que l’image observée est à l’envers. Heureusement ce n’est pas le cas avec les jumelles…. Le grossissement est d’autant plus grand que la distance focale de l’objectif est grande et que celle de l’oculaire est petite.

Exemple 1

On considère une lunette ayant une lentille objectif ayant une distance focale $f_{ob}=1{,}2m$, et une lentille oculaire ayant une distance focale $f_{oc}=12cm$. La distance entre les deux lentilles est D=1,48m. Un objet de 10cm est placé à 8,4m devant l’objectif. Calculer le grossissement de la lunette.

ob



Le grossissement est donné par $G=\frac{\theta''}{\theta}$

$\theta=\frac{h}{p_{ob}}$

Calcul de θ''

$\theta''=\frac{h_{ob}}{p_{oc}}$

$\frac{h_{ob}}{h}=-\frac{q_{ob}}{p_{ob}}$ donc : $h_{ob}=-h\frac{q_{ob}}{p_{ob}}$

$\frac{1}{q_{ob}}=\frac{1}{f_{ob}}-\frac{1}{p_{ob}}$ d’où $\frac{q_{ob}}{p_{ob}}=\frac{f_{ob}}{p_{ob}-f_{ob}}$ et $h_{ob}=\frac{h\cdot f_{ob}}{p_{ob}-f_{ob}}$

Par ailleurs $p_{oc}=D-q_{ob}=D-\frac{p_{ob}\cdot f_{ob}}{p_{ob}-f_{ob}}$

Donc $\theta''=\frac{h.f_{ob}}{p_{ob}-f_{ob}}.\frac{1}{D-\frac{p_{ob}.f_{ob}}{p_{ob}-f_{ob}}}$

Le grossissement sera donc : $G=\frac{h.f_{ob}}{p_{ob}-f_{ob}}.\frac{1}{D-\frac{p_{ob}.f_{ob}}{p_{ob}-f_{ob}}}.\frac{p_{ob}}{h}=\frac{f_{ob}.p_{ob}}{\left(p_{ob}-f_{ob}\right)\left(D-\frac{p_{ob}.f_{ob}}{p_{ob}-f_{ob}}\right)}$

Le grossissement est indépendant de la taille de l'objet à observer, et ne dépend que de la distance.

$$G=\frac{1,2x8,4}{\left(8,4-1,2\right)\left(1,48-\frac{8,4x1,2}{8,4-1,2}\right)}=\frac{10,08}{7,2x\left(1,48-\frac{10,08}{7,2}\right)}=\frac{10,08}{7,2x\left(1,48-1,4\right)}=\frac{10,08}{7,2x0,08}=19$$

$$\boxed{G=19}$$

Exemple 2

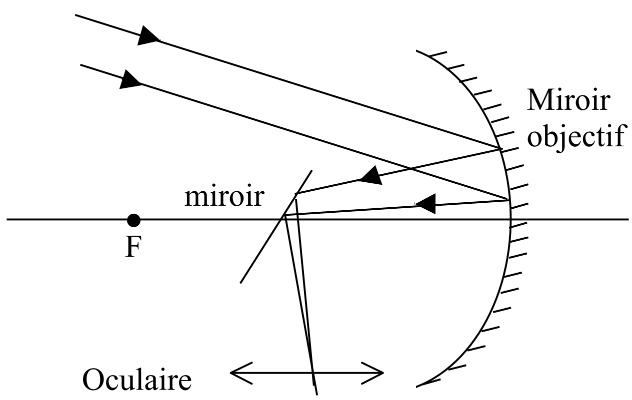
On considère une lunette astronomique dont la lentille objectif a une distance focale de 1,50m, et une lentille oculaire de distance focale 5cm. Les deux lentilles sont séparées de 1,55m. On observe un objet sous un angle de O,1°placé à l'infini. L'image est également à l'infini. Calculer le grossissement et en déduire l'angle sous lequel il est observé dans l'oculaire.

$G=\frac{f_{ob}}{f_{oc}}=\frac{150}{5}=30$. L'angle de vision est donc : $\theta''=G.\theta=30x0,1=3°$

8 - <u>Le télescope</u>

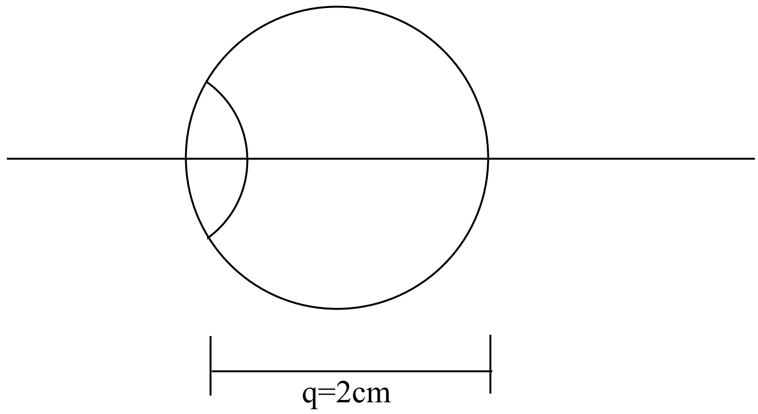
Le miroir parabolique remplace la lentille objectif

Un miroir placé à 45° renvoie l'image sur le côté du télescope



9 - <u>L'oeil</u>

L'œil est un instrument d'optique unique. On peut le simplifier en le considérant comme un système optique composé d'une lentille de distance focale d'environ 2cm. L'image se forme sur la rétine. Une particularité de l'œil est sa capacité à se déformer grâce à des muscles pour s'adapter à des objets situés à des distances différentes. L'œil se modifie continuellement avec en particulier l'âge. Les enfants ont la capacité de pouvoir focaliser beaucoup plus près que les adultes et les personnes âgées. Du fait de cette particularité, les enfants peuvent distinguer facilement des objets de petites dimensions.



Le punctum proximum est la distance minimale à laquelle on peut approcher un objet et le voir nettement. Cette distance varie d'un individu à un autre et aussi avec l'âge. La valeur normalisée utilisée est de 25 cm.

On en déduit donc à partir de la relation $\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q}$, en choisissant p=25 cm, et q=2cm, la distance focale du punctum proximum : f_{pp}=1,85cm

Le punctum remotum correspond à la distance maximale à laquelle un objet est visible nettement. Pour l'œil normal, cela correspond à l'infini : $p_{PR}=\infty$

L'œil myope

Dans le cas de l'œil myope, si un objet est placé à 25cm de l'œil, l'image se forme devant la rétine.

L'œil presbyte

Dans le cas de l'œil presbyte,si un objet est placé à 25cm de l'œil, l'image se forme derrière la rétine.

L'œil astigmate

Dans le cas de l'œil astigmate, l'image est multiple.

Exercice1

Soit un œil ayant un punctum proximum de 20cm, et un punctum remotum de 25m. Calculer la distance focale pour un objet placé au punctum proximum, pui au punctum remotum.

Pour le punctum proximum :

$\frac{1}{f_{PP}}=\frac{1}{p_{PP}}+\frac{1}{q}$, or pour un œil normal, q=2cm, donc :

$f_{PP}=\frac{q \cdot p_{PP}}{q+p_{PP}}=\frac{2x20}{2+20}=1{,}8cm$ D'où $C_{PP}=\frac{1}{0{,}018}=55{,}6$

Pour le punctum remotum :

$$\frac{1}{f_{PR}}=\frac{1}{p_{PR}}+\frac{1}{q}$$

$$f_{PR}=\frac{q.p_{PR}}{q+p_{PR}}=\frac{0,02x25}{25+0,02}\approx 2cm \qquad \text{D'où} \quad C_{PR}=\frac{1}{0,02}=50$$

L'amplitude d'accommodation est : $C_{PP}-C_{RR}=55,6-50=5,6 Dioptries$

Exercice 2

Un œil possède un punctum proximum de $p_0=75cm$. Quelle lentille doit on mettre pour corriger ?

Calcul de la distance focale de l'œil :

$$\frac{1}{f_0}=\frac{1}{p_0}+\frac{1}{q_0} \qquad \text{Donc : } f_0=\frac{q_0.p_0}{q_0+p_0}=\frac{2x75}{2+75}=1,95cm$$

On place une lentille L devant l'œil. On veut donc que p_L=25cm pour avoir une vision normale. On aura comme dans le montage de deux lentilles minces : $q_L=-p_0$

$$\frac{1}{f_L}=\frac{1}{p_L}+\frac{1}{q_L}=\frac{1}{p_L}-\frac{1}{p_0} \qquad \text{Donc} \quad \frac{1}{p_0}=\frac{1}{p_L}-\frac{1}{f_L} \quad \text{et on a aussi : } \frac{1}{p_0}=\frac{1}{f_0}-\frac{1}{q_0}$$

On en déduit : $\frac{1}{p_L}-\frac{1}{f_L}=\frac{1}{f_0}-\frac{1}{q_0}$ donc : $\frac{1}{f_L}=\frac{1}{p_L}+\frac{1}{q_0}-\frac{1}{f_0}$

$$\frac{1}{f_L}=\frac{1}{0,25}+\frac{1}{0,02}-\frac{1}{0,0195}$$

$$\frac{1}{f_L}=4+50-51,28=2,72D$$