

Optique géométrique

L'étude de la lumière est marquée par de grands physiciens et une histoire à rebondissements depuis le début du 17^{ème} siècle. On citera Galilée, Newton, Young, Maxwell, Planck, Einstein... et il y en a encore bien d'autres.

On n'a connu pendant longtemps que la lumière visible par l'homme et donc provenant le jour du Soleil, le soir d'un feu ou d'une bougie. Aujourd'hui, le champ concerné est beaucoup plus large.

La lumière est-elle constituée de particules ou est-elle une onde ? A quelle vitesse se déplace-t-elle ? Quelle est sa trajectoire ?

Nous nous limiterons dans ce chapitre à l'optique géométrique de la lumière visible pour laquelle, en 1^{ère} analyse, l'aspect ondulatoire n'est pas déterminant et qui permet de décrire le fonctionnement des appareils d'optique classique et particulièrement la loupe et le microscope utiles pour l'observation des matériaux.

1. Les bases de l'optique géométrique

a. L'indice de réfraction de la lumière

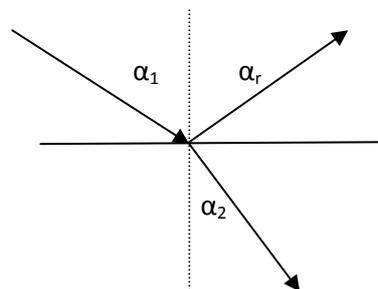
La lumière se déplace à une vitesse constante dans un milieu donné. Sa vitesse est maximum dans le vide. On la note c avec $c = 3 \cdot 10^8 \text{ km.s}^{-1}$. On la note v dans un autre milieu.

Le rapport $n = c / v$ est appelé l'indice de réfraction.

	n	v en km.s^{-1}
air	1	
eau	1,33	225000
verres	1,5 à 1,8	
plastique (polystyrène)	1,5	200000

b. Loi de la réflexion

La lumière incidente se réfléchit sur un matériau sous un angle $\alpha_r = \alpha_i$. Les angles sont mesurés par rapport à la normale au plan de la surface du matériau.



c. Loi de la réfraction

La lumière se réfracte dans un nouveau milieu suivant la loi de la réfraction appelée aussi loi de Snell, voire loi de Descartes telle que $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$.

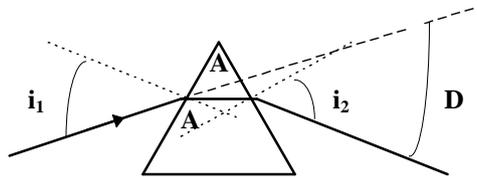
Exemple : la lumière passe de l'eau dans le verre. On donne $i_1 = 60^\circ$, $n_1 = 1,33$, $n_2 = 1,52$. On calcule $i_2 = 49,3^\circ$.

d. Angle de réfraction limite

On a réflexion totale car on a un angle de réfraction limite qui est de 90° . D'où pour le passage du verre à l'air : $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 = 1$ d'où $\sin \alpha_1 = 1 / n_1 = 1 / 1,52 = 0,658$ soit $\alpha_1 = 41,1^\circ$. On peut avoir ainsi des prismes à 90° qui se comportent comme des prismes à réflexion totale.

e. Déviation de la lumière par un prisme

On considère un prisme d'indice n :



L'application des lois de la réfraction et la géométrie conduit à :

$$\sin i_1 = n \sin r_1$$

$$\sin i_2 = n \sin r_2$$

$$r_1 + r_2 = A$$

$$D = i_1 + i_2 - A$$

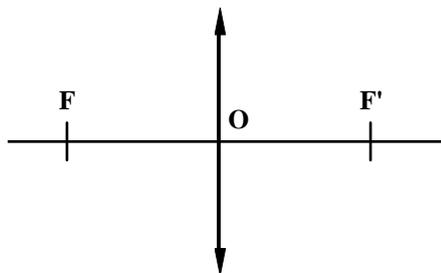
Si on prend : $r_1 = r_2 = A/2$, on a : $i_1 = i_2$, $D = 2i - A$ et $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin\left(\frac{A+D}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$.

Il s'agit de l'utilisation normale du prisme au minimum de déviation.

On notera que l'indice du prisme dépend de la couleur de la lumière. Il disperse donc la lumière et permet d'obtenir donc un spectre.

2. lentilles minces

Une lentille constituée de 1 ou 2 surfaces sphériques est caractérisée par son centre optique et ses 2 foyers objet et image.

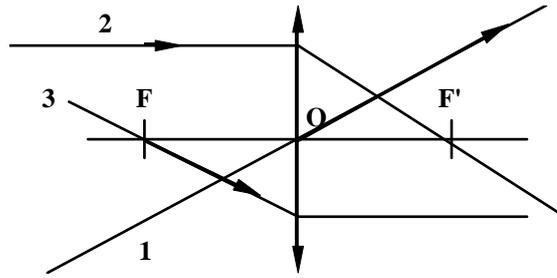


Pour une surface sphérique, la relation entre le rayon de courbure et la distance focale est :

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \frac{1}{R}$$

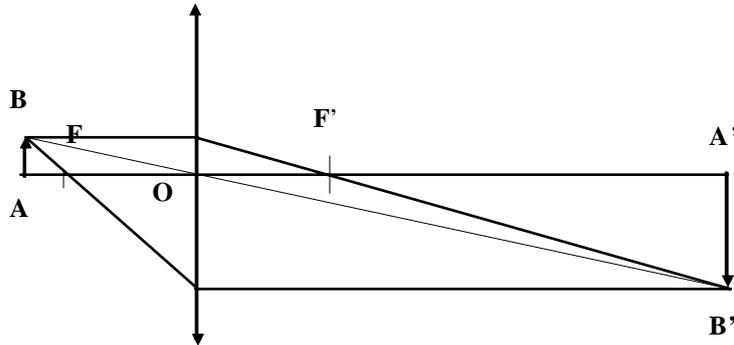
Le trajet des rayons lumineux est défini :

- un rayon parallèle à l'axe de la lentille ressort par le foyer image
- un rayon passant par le foyer objet ressort parallèle à l'axe de la lentille
- un rayon passant par le centre de la lentille n'est pas dévié



Pour les lentilles minces convergentes, on a 2 situations :

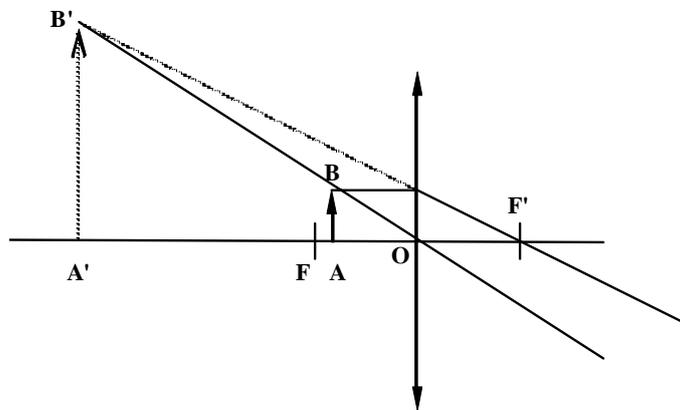
- objet réel – image réelle



On obtient la relation de conjugaison pour $OA > OF$: $\frac{1}{OA} + \frac{1}{OA'} = \frac{1}{f}$.

On peut recueillir l'image sur un écran.

- objet réel – image virtuelle



On a alors la relation de conjugaison pour $OA < OF$: $\frac{1}{OA} - \frac{1}{OA'} = \frac{1}{f}$.

L'image ne peut être obtenue sur un écran.

3. l'œil

L'œil peut être assimilé à une sphère de 2,5 cm de diamètre. Le cristallin est lentille de distance focale variable. Il permet d'accommoder. La rétine est analogue à un écran situé donc à une distance fixe de 2,0 cm du cristallin. La rétine est constituée de cônes et de bâtonnets qui donnent respectivement la couleur et la forme de l'objet. La pupille ferme plus ou moins l'iris et laisse rentrer plus ou moins de lumière.

Un œil normal voit du Punctum proximum PP à 25 cm au Punctum remotum PR à l'infini.

L'œil peut avoir des défauts :

- la myopie. L'image se forme en avant de la rétine. On porte des lunettes convexes

- l'hypermétropie. L'image se forme trop loin. Il faut des lunettes convergentes.
- L'astigmatisme. L'image est déformée.
- Avec l'âge, l'œil a plus de mal à accommoder et a du mal à voir près. Cela arrange les myopes !

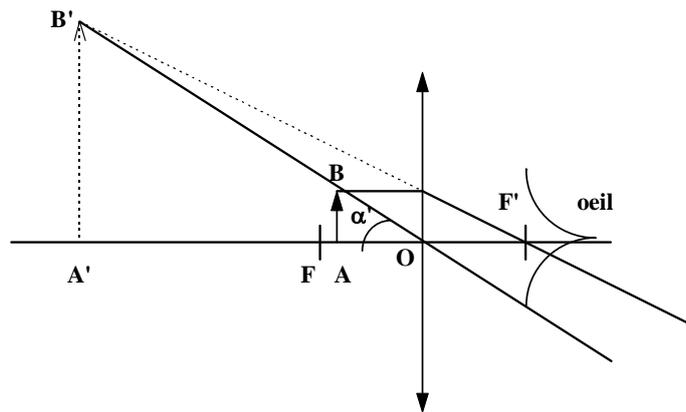
Le pouvoir d'une lentille est défini par l'inverse de sa distance focale donnée en dioptries.

Une distance focale $f = 50 \text{ cm}$ correspond à un pouvoir de $1 / 0,5 = 2$ dioptries.

On caractérise aussi le pouvoir séparateur. Il s'agit pour l'œil du plus petit angle qu'il est capable de séparer soit $1' \text{ d'angle} = \pi / 180 \times 60 \text{ rd}$.

4. la loupe

Une loupe permet de voir une image virtuelle grossie d'un petit objet.

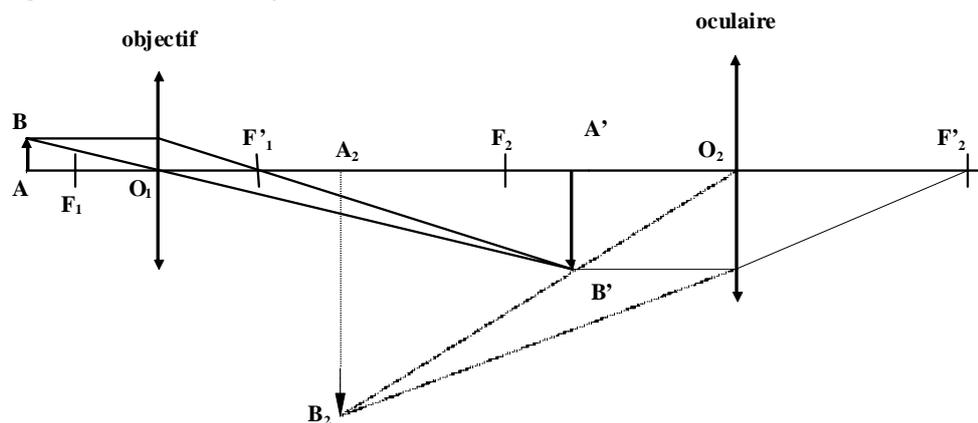


On place en général l'objet au foyer objet et l'image est donc à l'infini.

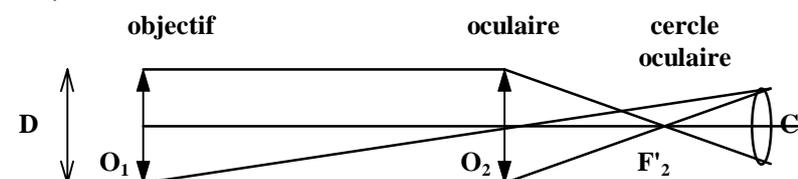
L'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu est $\alpha = AB / 25$. A travers la loupe, l'angle est $\alpha' = AB / f$. Le grossissement est donc $G = \alpha' / \alpha = 25 / f$.

5. le microscope

Le microscope est constitué de 2 lentilles. On regarde avec l'oculaire (une loupe), l'image agrandie à travers l'objectif.



On place l'œil au cercle oculaire :



Ce cercle oculaire est l'image de l'objectif à travers l'oculaire.

On a donc : $\frac{1}{O_1O_2} + \frac{1}{O_2C} = \frac{1}{f_2}$ d'où $O_2C = \frac{f_2 \times O_1O_2}{O_1O_2 - f_2}$ et $\varnothing = D \frac{O_2C}{O_1O_2}$

L'objet est placé en A autour d'une position, très proche du foyer objet, qui permet de le voir entre le Punctum proximum et le Punctum remotum. C'est ce qu'on appelle la latitude de mise au point. Elle est de quelques micromètres. C'est ce qui explique la nécessité de polir l'échantillon métallique à observer. Le microscope ne peut voir en relief.

Le grossissement du microscope est : $G = \frac{\alpha'}{\alpha} = G_{oculaire} \gamma_{objectif}$ avec $G_{oculaire}$ le grossissement de l'oculaire et $\gamma_{objectif} = \frac{A'B'}{AB}$ le grandissement de l'objectif.

On peut aussi justifier la relation : $G = \frac{\alpha'}{\alpha} = PP \frac{\Delta}{f_1 f_2}$ avec $\Delta = F_1 F_2$ la distance entre les foyers.

Avec $PP = 25$ cm, on appelle la relation le grossissement commercial.