Département de Génie Biologique

Cours d'optique géométrique

1ère année

Jean-Michel MARTINEZ

20011/20012

Table des matières

1 Optique géométrique **2**

1.1 Introduction 2

1.2 Le principe de Fermat et les lois de Snell-Descartes 4

1.2.1 Le principe de Fermat 4

1.2.2 Les lois de Snell-Descartes 8

1.2.3 Interprétation des lois de Snell-Descartes 9

1.2.4 Principe de construction géométrique de Huygens des rayons réfléchis et réfractés 10

1.3 Le prisme 11

1.3.1 Trajet des rayons lumineux dans le prisme 12

1.3.2 Déviation du prisme 12

1.3.3 Cas des petits angles 13

1.4 Conditions de Gauss 14

1.5 Les lentilles minces 15

1.5.1 Introduction 15

1.5.2 Construction géométrique 17

1.5.3 Relation de conjugaison, grandissement 18

1.5.4 L'oeil humain 19

1.5.5 Loupe, oculaire, microscope 21

Chapitre 1

Optique géométrique

1.1 Introduction

La lumière est une onde électromagnétique, c'est- à -dire une oscillation couplée d'un champ électrique $\vec{E}$ et d'un champ magnétique $\vec{B}$. Le vecteur $\vec{k}$ désigne la direction de propagation de l'onde dans le milieu. Ces trois vecteurs sont perpendiculaires entre eux et forment un trièdre direct $\left(\vec{E}, \vec{B}, \vec{k}\right)$.

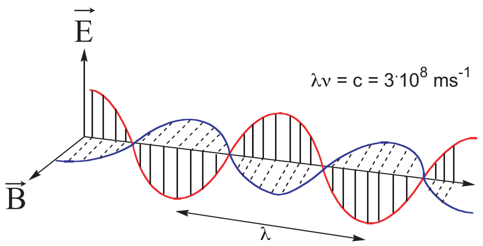


FIGURE 1.1: *Représentation vectorielle d'une onde électromagnétique*

Cette onde est caractérisée en premier lieu, par une pulsation ω exprimée en $rad.s^{-1}$.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \tag{1.1.1}$$

où T représente la période exprimée en secondes (s) et ν la fréquence en hertz (Hz ou s^{-1}). De l'équation 1.1.1, on en déduit la relation :

$$\nu = \frac{1}{T} \tag{1.1.2}$$

Einstein a montré grâce à sa théorie sur l'effet photoélectrique, que la lumière était aussi un ensemble de corpuscules appelés photons, capables d'arracher des électrons au noyau d'un atome, à condition que la longueur d'onde soit inférieure à seuil donné.

Cette dualité onde-corpuscule a trouvé sa légitimité à travers les travaux de De Broglie, Heisenberg et Dirac.

La lumière se propage aussi bien dans le vide que dans un milieu fluide ou solide à condition que le milieu soit dit transparent. Certains fluides comme l'eau par exemple, peuvent bloquer le passage de la lumière lorsque l'épaisseur à traverser devient trop importante. Donc si la lumière se propage c'est qu'elle a une vitesse [1]. Cette vitesse est déterminée à partir du produit de la longueur d'onde (λ) par la fréquence (ν) soit :

$$c = \lambda\nu \tag{1.1.3}$$

l'équation aux dimensions étant la suivante,

$$[c] = [\lambda\nu] = m.s^{-1}$$

nous obtenons bien les dimensions d'une vitesse. A la suite des travaux de Morley et Michelson sur la vitesse de la lumière, Minkowski, Lorentz, Poincaré et Einstein ont montré chacun à leur manière, que la vitesse de la lumière est une constante physique,

$$c = 299\ 792,458\ km.s^{-1} \tag{1.1.4}$$

que l'on prend en général environ égal à $300000\ km.s^{-1}$. Depuis 1983, le mètre étalon est défini à partir de la vitesse de la lumière.

L'optique géométrique est l'étude de la trajectoire des rayons lumineux à travers différents dispositifs optiques (miroirs, dioptres, lentilles). La lumière est produite par des sources monochromatiques ou polychromatiques ponctuelles, cohérentes ou non. Un ensemble de rayons lumineux sera appelé un faisceau

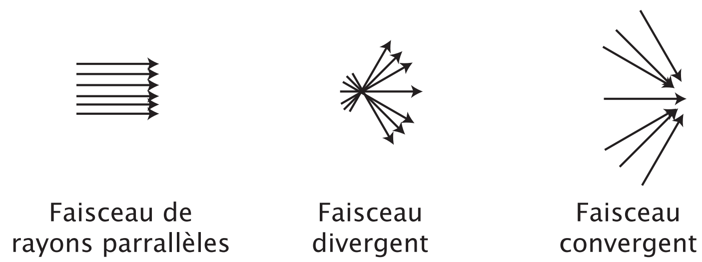


FIGURE 1.2: *Différentes allures de faisceaux*

1. Dans le cas des ondes, on parle de célérité

1.2 Le principe de Fermat et les lois de Snell-Descartes

1.2.1 Le principe de Fermat

Lorsque la lumière se propage dans une milieu transparent d'indice n entre un point A et un point B, celle ci choisi toujours le chemin dont le temps de parcours est extrêmal (minimal ou maximal). Cette affirmation s'énonce mathématiquement comme suit :

Soit dl le déplacement élémentaire entre A et B dans un milieu d'indice n. dt représente la durée du parcours pour la longueur dl soit :

$$dt = \frac{dl}{V} \tag{1.2.1}$$

or l'indice n d'un milieu est constant et est donné par le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu, $n = \frac{c}{V}$. Nous avons donc :

$$dt = n(l)\frac{dl}{c} \tag{1.2.2}$$

La durée du parcours entre les points A et B s'écrit donc :

$$t = \frac{1}{c}\int_A^B n(l)dl \tag{1.2.3}$$

Notons L_{AB} le chemin optique parcouru par la lumière. $L_{AB} = ct = \int_A^B n(l)dl$

Sous sa forme générale, le principe de Fermat s'énonce comme suit :

$$dL_{AB} = 0 \tag{1.2.4}$$

La distance parcourue par la lumière entre le point A et le point B dans un milieu donné est toujours la plus courte.

Exemple 1 : Réflexion sur un miroir plan La lumière se déplace du point A vers le point B en se réfléchissant sur un miroir plan. Selon le principe de Fermat la distance entre le point A et le point B en passant par M, doit être la plus courte possible. Nous avons donc la distance $AM = \sqrt{x_a^2 + y^2}$ et $MB = \sqrt{x_b^2 + (y_b - y)^2}$.

La distance totale s'écrit donc :

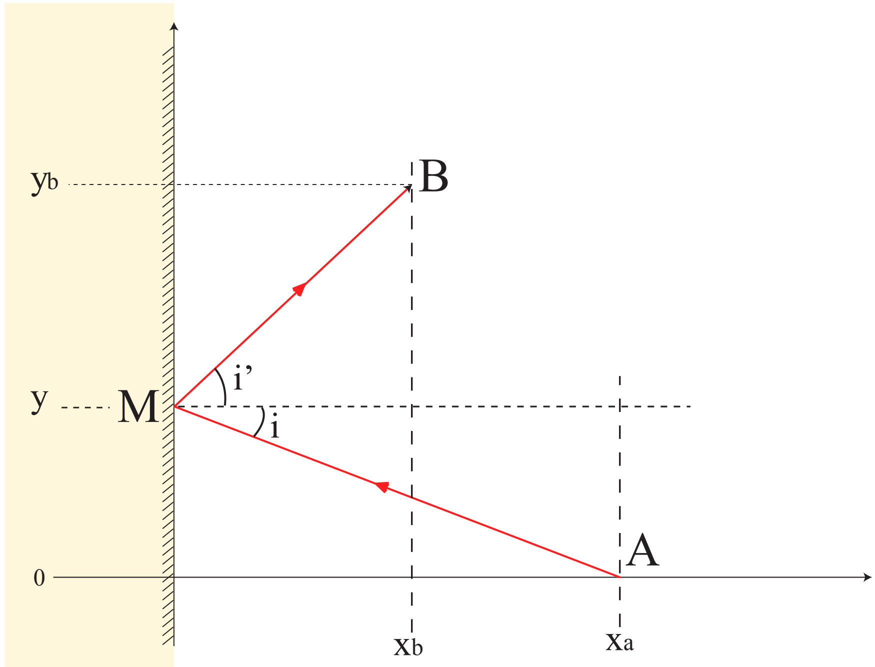


FIGURE 1.3 : *La lumière se propage du point A vers le point B en se réfléchissant sur un miroir plan.*

$$L_{AB}(y) = \sqrt{x_a^2 + y^2} + \sqrt{x_b^2 + (y_b - y)^2} \tag{1.2.5}$$

Le principe de Fermat s'écrit $dL_{AB}(y) = 0$. Le seul paramètre variable est y. Nous devons donc dériver par rapport à y, il vient :

$$\frac{dL_{AB}(y)}{dy} = \frac{y}{\sqrt{x_a^2 + y^2}} - \frac{(y_b - y)}{\sqrt{x_b^2 + (y_b^2 - y^2)}} = 0 \tag{1.2.6}$$

ce qui implique :

$$\frac{y}{\sqrt{x_a^2 + y^2}} = \frac{(y_b - y)}{\sqrt{x_b^2 + (y_b^2 - y^2)}} \tag{1.2.7}$$

$$\sin i = \sin i' \tag{1.2.8}$$

$$i = i' \tag{1.2.9}$$

On établit ainsi qu'à la réflexion sur un miroir plan, les angles d'incidence i et de réflexion i' doivent être égaux afin de respecter le principe de Fermat.

Exemple 2 : Réfraction de la lumière lors d'un changement de milieu

La lumière se déplace du point A vers le point B en changeant de milieu en M. La vitesse de déplacement au sein du milieu 1 est V_1 et la vitesse de déplacement dans le milieu 2 est

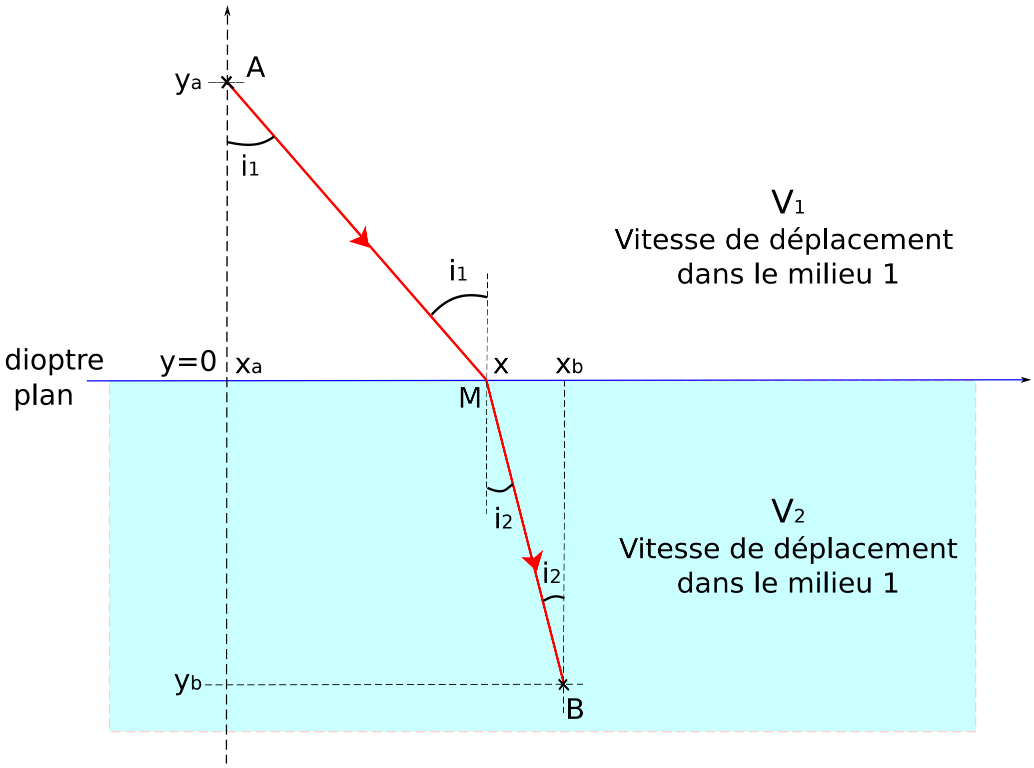


FIGURE 1.4 : *La lumière se propage du point A vers le point B en subissant une réfraction en passant du milieu 1 vers le milieu 2*

V_2. Le principe de Fermat nous dit que le temps de parcours de la vitesse doit être minimal. Considérons le temps mis pour aller du point A au point M.

$$t_{AM} = \frac{L_{AM}}{V_1} \tag{1.2.10}$$

où L_{AM} représente la distance entre le point A et le point M. Considérons à présent le temps nécessaire pour parcourir la distance L_{MB}.

$$t_{MB} = \frac{L_{MB}}{V_2} \tag{1.2.11}$$

Le temps total nécessaire sera donc la somme des temps t_{AM} et t_{MB}. Soit :

$$t_{AB} = t_{AM} + t_{MB} = \frac{L_{AM}}{V_1} + \frac{L_{MB}}{V_2} \tag{1.2.12}$$

On peut déterminer, sur le schéma 1.4, les distances L_{AM} et L_{MB},

$$L_{AM} = \sqrt{y_a^2 + (x - x_a)^2} \tag{1.2.13}$$

$$L_{MB} = \sqrt{y_b^2 + (x_b - x)^2} \tag{1.2.14}$$

le temps de parcours est donc une fonction de la coordonnée x et s'écrira au final :

$$t_{AB}(x) = \frac{\sqrt{y_a^2 + (x - x_a)^2}}{V_1} + \frac{\sqrt{y_b^2 + (x_b - x)^2}}{V_2} \tag{1.2.15}$$

dans laquelle V_1 et V_2 sont des vitesses constantes.
Le principe de Fermat nous permet de poser :

$$\frac{dt_{AB}(x)}{dx} = \frac{1}{V_1}\frac{(x - x_a)}{\sqrt{y_a^2 + (x - x_a)^2}} + \frac{1}{V_2}\frac{-(x_b - x)}{\sqrt{y_b^2 + (x_b - x)^2}} = 0 \tag{1.2.16}$$

Ce qui revient à écrire :

$$\frac{1}{V_1}\frac{(x - x_a)}{\sqrt{y_a^2 + (x - x_a)^2}} = \frac{1}{V_2}\frac{(x_b - x)}{\sqrt{y_b^2 + (x_b - x)^2}} \tag{1.2.17}$$

$$\frac{1}{V_1}\sin i_1 = \frac{1}{V_1}\sin i_2 \tag{1.2.18}$$

En multipliant de part et d'autre de la relation par la vitesse de la lumière c, on obtient :

$$\frac{c}{V_1}\sin i_1 = \frac{c}{V_2}\sin i_2 \tag{1.2.19}$$

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \tag{1.2.20}$$

où n_1 et n_2 représentent les indices respectifs du milieu 1 et du milieu 2.

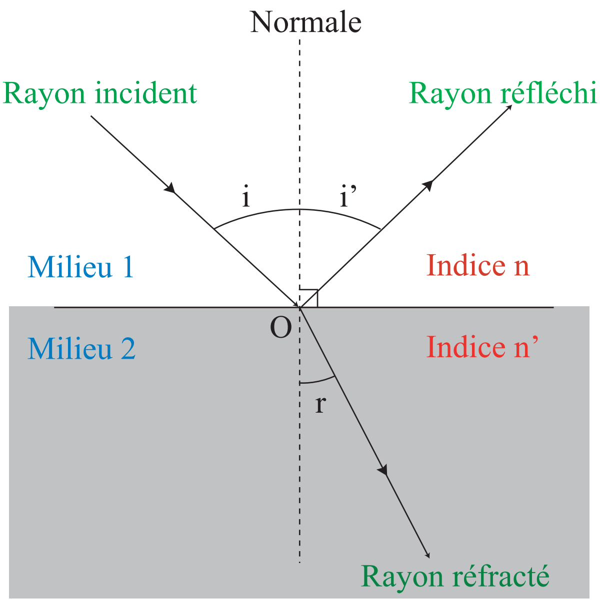


FIGURE 1.5 : *Définition des angles d'incidence (i), de réfraction (r) et de réflexion (i') et des rayons correspondants dans le plan d'incidence*

1.2.2 Les lois de Snell-Descartes

Les lois de Snell-Descartes sont au nombre de trois et peuvent être intégralement déduites du principe de Fermat.

On considère un rayon lumineux appelé rayon incident se propageant dans un milieu d'indice n. Ce rayon crée, en rencontrant la surface de séparation [2] d'un milieu d'indice n', au point O (point d'incidence), un rayon réfléchi [3] et un rayon réfracté [4].

Les lois de Snell-Descartes stipulent que :

- Les rayons incidents, réfléchis et réfractés sont dans un seul et même plan appelé plan d'incidence.
- Les rayons incidents et réfléchis forment des angles égaux par rapport à la normale au dioptre (i=i').
- Les rayons incidents et réfractés forment avec la normale des angles incidents et réfractés obéissant à la loi $n \sin i = n' \sin r$. où n et n' sont respectivement les indices absolus du milieu 1 et 2.

2. On dit aussi la surface du dioptre
3. On parle de réflexion partielle
4. A condition que le milieu 2 soit transparent, homogène et isotrope. Ce qui sera toujours le cas dans ce qui nous intéresse

Remarque : Si l'on inverse le sens de propagation de la lumière, le parcours suivi ne change pas. Il s'agit du principe de retour inverse de la lumière.

1.2.3 Interprétation des lois de Snell-Descartes

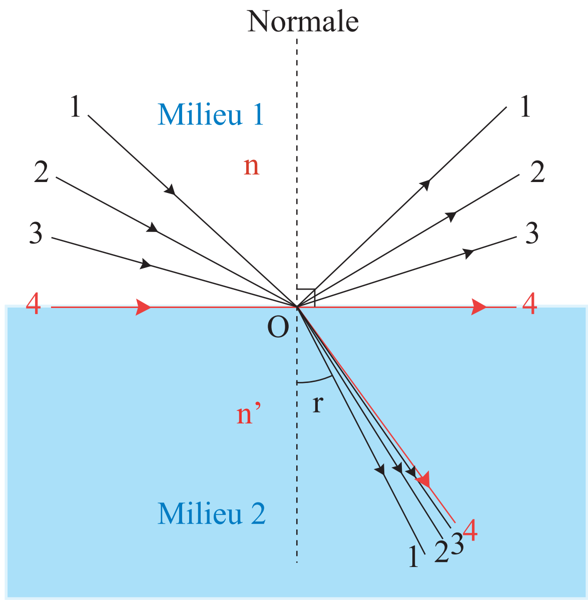


FIGURE 1.6: *Evolution de l'angle incident i et de l'angle réfracté r*

L'angle d'incidence i peut varier entre 0°et 90°. On en déduit selon la seconde loi de Snell-Descartes que l'angle réfléchi varie dans le même intervalle. Il n'en va pas de même pour l'angle réfracté. Il existe un angle limite dépendant des indices n et n' pour un angle incident de 90°, lorsque le milieu 1 est moins réfringent que le milieu 2. En effet $\sin(90) = 1$ et selon la troisième loi de Snell-Descartes, $n \sin(90) = n' \sin r$. Connaissant les valeurs des indices n et n' nous pouvons en déduire :

$$\sin r = \frac{n}{n'} \tag{1.2.21}$$

Exemple : Soit n l'indice de l'air pris pour unité et n' l'indice du verre ayant pour valeur 1,5. Calculez l'angle limite de réfraction dans le verre. Il vient : $r = \arcsin(2/3) = 41,81$

Lorsque le milieu 1 est plus réfringent que le milieu 2, c'est à dire n>n', on peut obtenir une réflexion totale. En effet, lorsque l'angle incident devient important, la réflexion devient totale car l'angle que forme le rayon incident avec la normale dépasse l'angle limite de réfraction. Une application bien connu de ce principe réside dans les fibres optiques qui "emprisonnent" la lumière à l'aide de ce principe d'optique élémentaire.

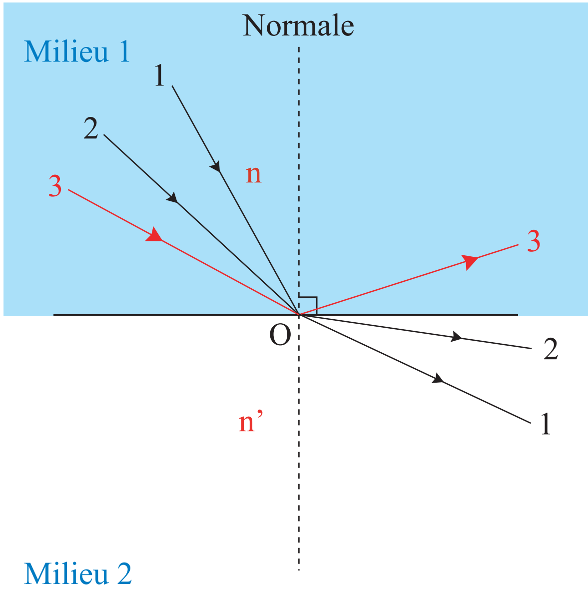


FIGURE 1.7 : *Le rayon incident est totalement réfléchi lorsque l'angle incident devient suffisamment élevé*

1.2.4 Principe de construction géométrique de Huygens des rayons réfléchis et réfractés

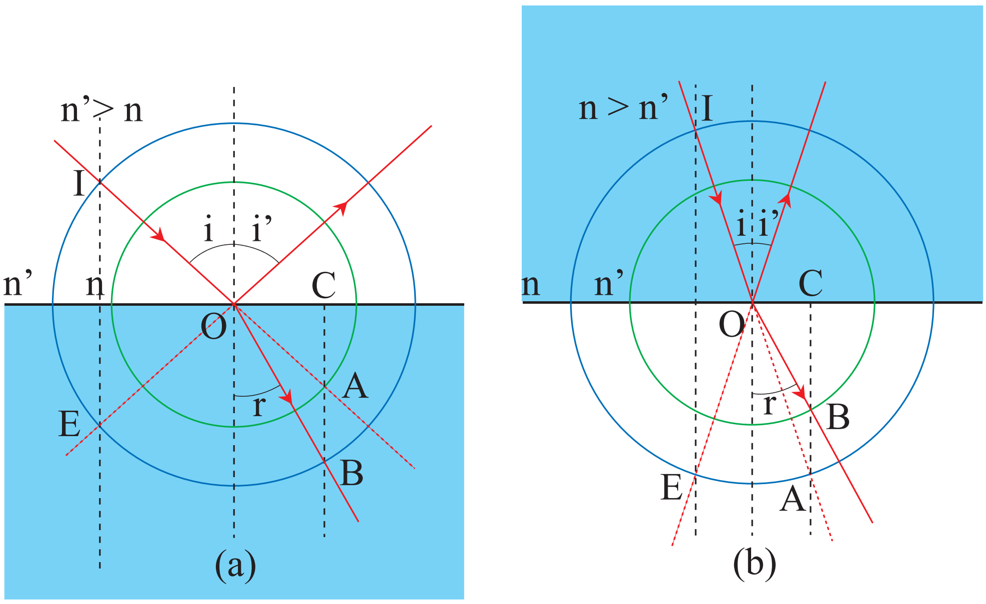


FIGURE 1.8: *Construction de Huygens*

Le principe de construction de Huygens est une méthode géométrique permettant de tracer les rayons réfléchis et réfractés pour un rayon incident donné. Il suffit pour cela de tracer deux cercles, respectivement de rayon n et n' et de centre O.

– Pour tracer le rayon réfléchi, il suffit de mener une droite perpendiculaire à la surface du dioptre passant par le point I, point d'intersection entre le cercle de rayon n et le rayon incident. Cette droite coupe le cercle de rayon n au point E. En prolongeant la droite passant par les points O et E, on trace le rayon réfléchi.

– Pour tracer le rayon réfracté, on prolonge, le rayon incident à travers le dioptre d'indice n', celui coupe le cercle de rayon n au point A. La droite perpendiculaire à la surface du dioptre passant par le point A, coupe le cercle de rayon n' au point B. En joignant les points O et B, on trace le rayon réfracté.

1.3 Le prisme

Un prisme est un milieu homogène , transparent et isotrope, limité par deux dioptres plans non parallèles. L'intersection des deux dioptres forme l'arête du prisme, caractérisé par un angle A.

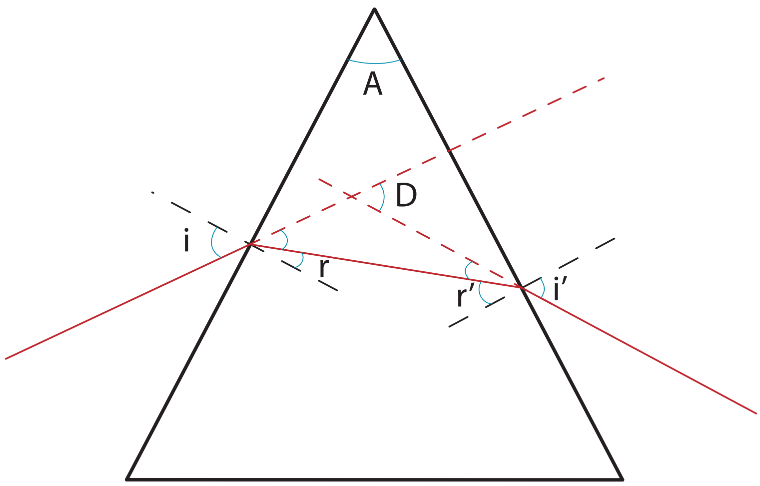


FIGURE 1.9 : *Représentation de la marche d'un rayon lumineux dans un prisme et définition des différents angles formés.*

Propriétés du prisme : Le prisme décompose la lumière blanche. Il y a dispersion de la lumière et celle-ci est d'autant plus importante que la longueur d'onde de la lumière incidente est courte.

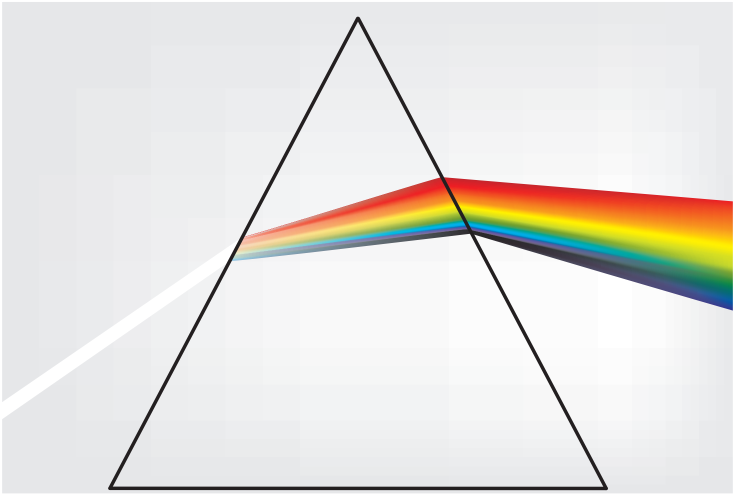


FIGURE 1.10: *Dispersion de la lumière à travers un prisme*

1.3.1 Trajet des rayons lumineux dans le prisme

Les lois de Snell-Descartes sont utilisés pour étudier le trajet des rayons lumineux pour un rayonnement incident monochromatique. Les relations que nous utilisons dans le prisme sont le suivantes :

$$\sin(i) = n\sin(r) \quad (1.3.1)$$

$$\sin(i') = n\sin(r') \quad (1.3.2)$$

$$r + r' = A \quad (1.3.3)$$

1.3.2 Déviation du prisme

La déviation d'un prisme est l'angle D que forme le rayon incident avec le rayon émergeant (le rayon sortant du prisme).

$$D = (i - r) + (i' - r') \quad (1.3.4)$$

$$= (i + i') - (r + r') \quad (1.3.5)$$

$$= (i + i') - A \quad (1.3.6)$$

L'angle D varie en fonction de i suivant la courbe 1.11. Cette courbe met en évidence un angle de déviation minimum :

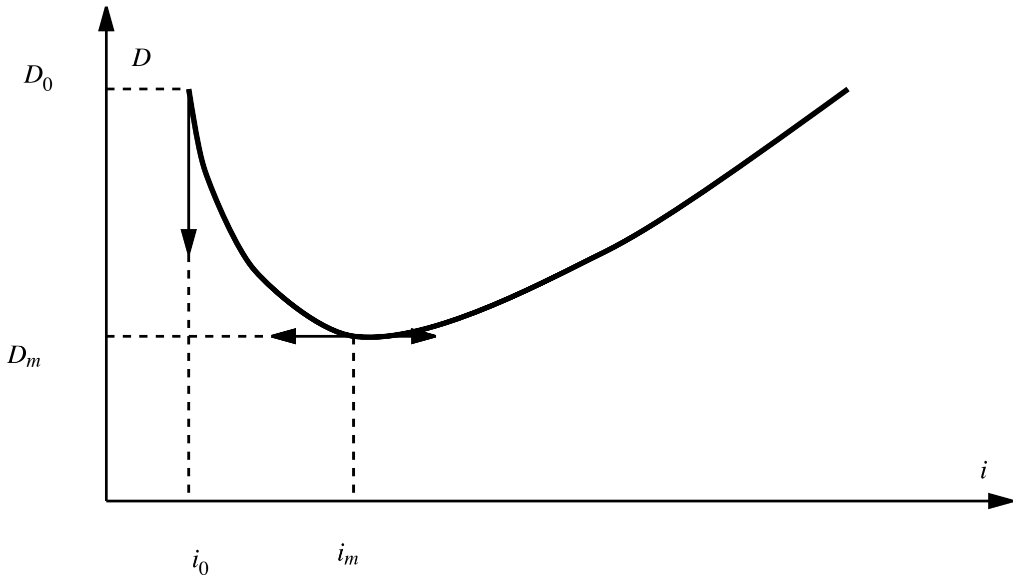


FIGURE 1.11: *Variation de l'angle de déviation D*

1.3.3 Cas des petits angles

Pour des angles d'incidence faibles (i<8°), c'est à dire des rayons lumineux proche de la normale, on peut poser les relations suivantes :

$$\begin{aligned} i &= nr \\ i' &= nr' \end{aligned}$$

et sachant que $A = r + r'$, il vient :

$$\begin{aligned} D &= i + i' - A \\ &= nr + nr' - A \\ &= n(r + r') - A \\ &= nA - A \end{aligned}$$

Ce qui implique,

$$D = (n-1)A \tag{1.3.7}$$

Propriétés : A l'approximation des petits angles, la déviation D est indépendante de l'angle d'incidence i.

Le prisme est de première utilité quand il s'agit de disperser la lumière blanche. En effet l'indice du milieu varie en fonction de la longueur d'onde, ce qui induit forcément un angle de réfraction différent pour chacun des faisceaux monochromatiques composant la lumière blanche. Cette différentiation des faisceaux est à nouveau accentuée à la sortie du prisme. Ceci se caractérise par la mise en évidence des différentes couleur de l'arc en ciel (fig1.10).

1.4 Conditions de Gauss

Un système optique est un ensemble de milieux transparents, isotropes ou réflecteurs. En pratique, les surfaces de séparations seront toujours des formes géométriques simples (plans, sphères...).

Un système optique est dit centré, si les différentes surfaces de séparation entre les milieux sont des surfaces de révolution autour d'un même axe : l'axe du système.

Définition :

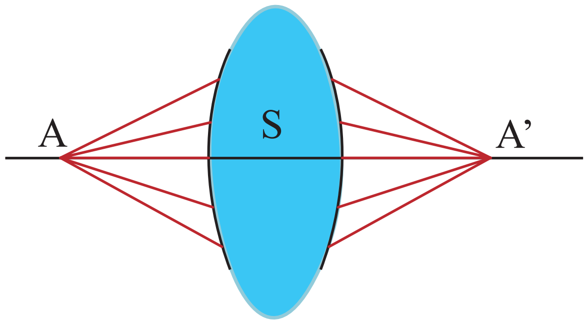
Un point lumineux est un objet lumineux vu par l'oeil humain sous un angle suffisamment petit pour que sa surface apparente soit considérée comme négligeable, soit un angle de vision inférieur à 1' d'arc.

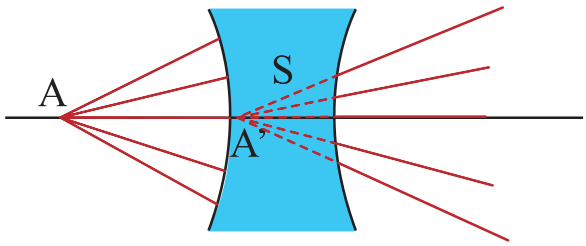
Plaçons un point lumineux A devant un système optique. Un faisceau conique divergent est reçu par le système optique centré sur sa face d'entrée. A la sortie, la nature du faisceau dépend du système optique considéré et de la position du point A par rapport à ce système.

Le faisceau émergent est un faisceau conique de sommet A'. Tous les rayons issus de A' passant par le système optique arrivent pratiquement en un point A'. Le point A' est alors l'image du point A et le système optique est dit stigmatique pour les points A et A'.

1. Si le faisceau conique est convergent, tous les rayons se concentrent en A' : l'image A' est une image réelle.
2. Si le faisceau conique est divergent, tous les rayons semblent provenir de A' : l'image A' est une image virtuelle. Aucune énergie lumineuse ne se concentre en A'

L'image d'un objet donné n'est jamais parfaite. Il est donc nécessaire de donner les conditions dans lesquelles les images sont les meilleures, ce sont les conditions de Gauss.





Définitions : On dit qu'un système optique est utilisé dans les conditions de l'approximation de Gauss lorsque sont réalisées les conditions suivantes :

1. Chaque point lumineux n'envoie effectivement dans le système qu'un pinceau lumineux dont les rayons ne s'écartent que trés faiblement de la normale à chaque surface rencontrée à l'intérieur du système optique considéré.
2. L'objet est plan (ou) rectiligne, perpendiculaire à l'axe du système et suffisamment petit pour que l'image puisse étre aussi considérée comme plane (ou rectiligne).

1.5 Les lentilles minces

1.5.1 Introduction

Les lentilles minces sont des systèmes optiques composés de deux dioptres dont l'un au moins est sphérique. On peut déterminer le chemin optique de la lumière à travers les lentilles minces, à partir des lois de Snell-Descartes [5]. Le but de ce paragraphe est de montrer comment construire les rayons lumineux provenant d'un objets AB dans la limite du stigmatisme de Gauss

1. Faisceau de rayons peu ouvert (pinceaux) ;
2. Angles d'incidence petits (pinceaux paraxiaux).

5. Nous ne nous intéresserons pas à la détermination du chemin optique à partir des lois de Snell-descartes car nous préférerons utiliser les résultats

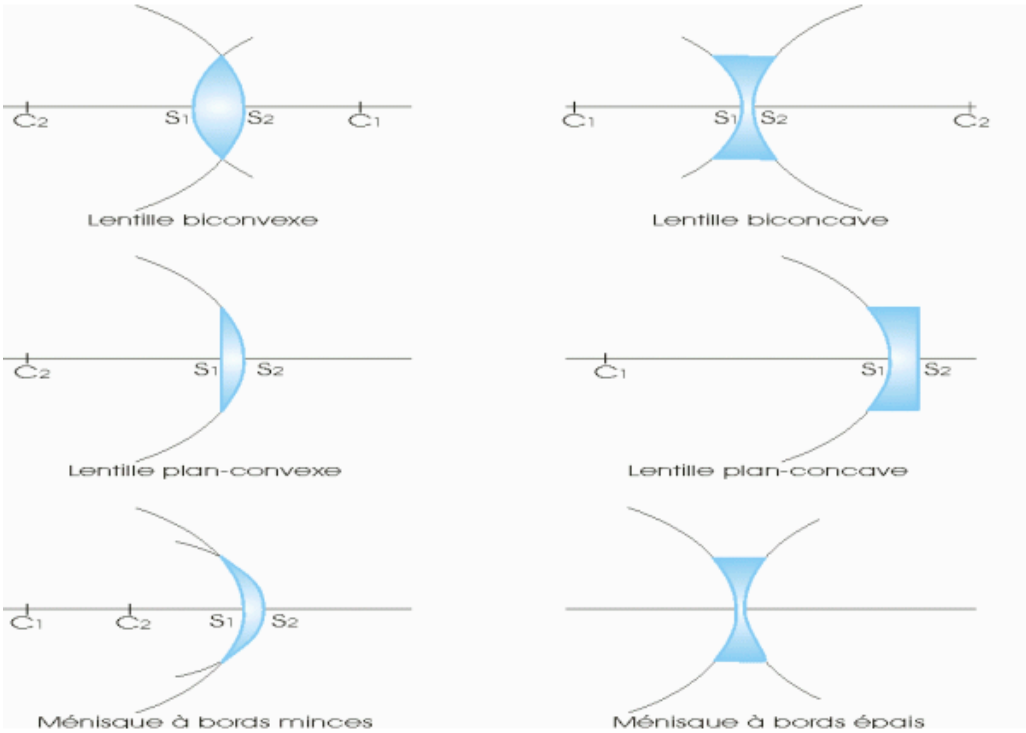


FIGURE 1.12: *Différents type de lentilles*

On schématise la différence entre une lentille divergente et une lentille convergente suivant la figure 1.13

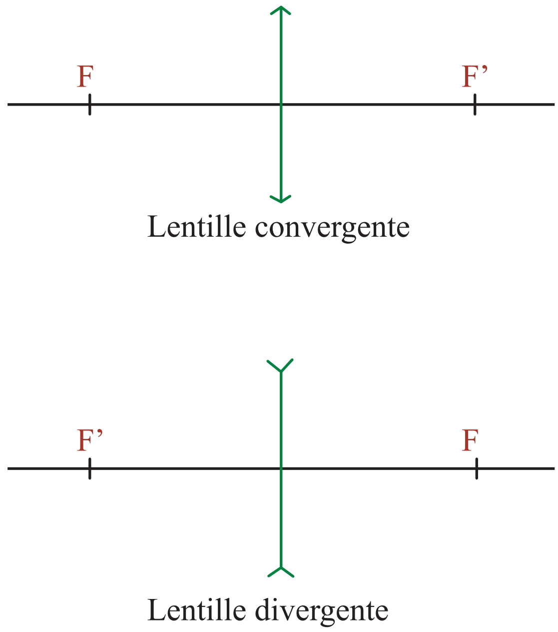


FIGURE 1.13: *Schématisation des lentilles convergentes et divergentes*

1.5.2 Construction géométrique

1.5.2.1 Lentilles convergentes :

Le trajet des rayons lumineux à travers une lentille mince est toujours le même. S'il s'agit d'une lentille convergente, nous utiliserons les régles suivantes :

* Tous les rayons lumineux partant de B et parallèles à l'axe optique, traversent la lentille et convergent vers le foyer image F'.

* Tous les rayons lumineux partant de B et traversant la lentille au point O, centre optique de la lentille ressortent sans être déviés.

* Tous les rayons lumineux partant de B et passant par le foyer objet F traversent la lentille et ressortent parallèles à l'axe optique.

S'il s'agit d'une lentille divergente, nous appliquerons les règles :

* Tous les rayons lumineux partant de B et parallèle à l'axe optique, traversent la lentille et semblent provenir du foyer image F'.

* Tous les rayons lumineux partant de B et traversant la lentille au point O, centre optique de la lentille ressortent sans être déviés.

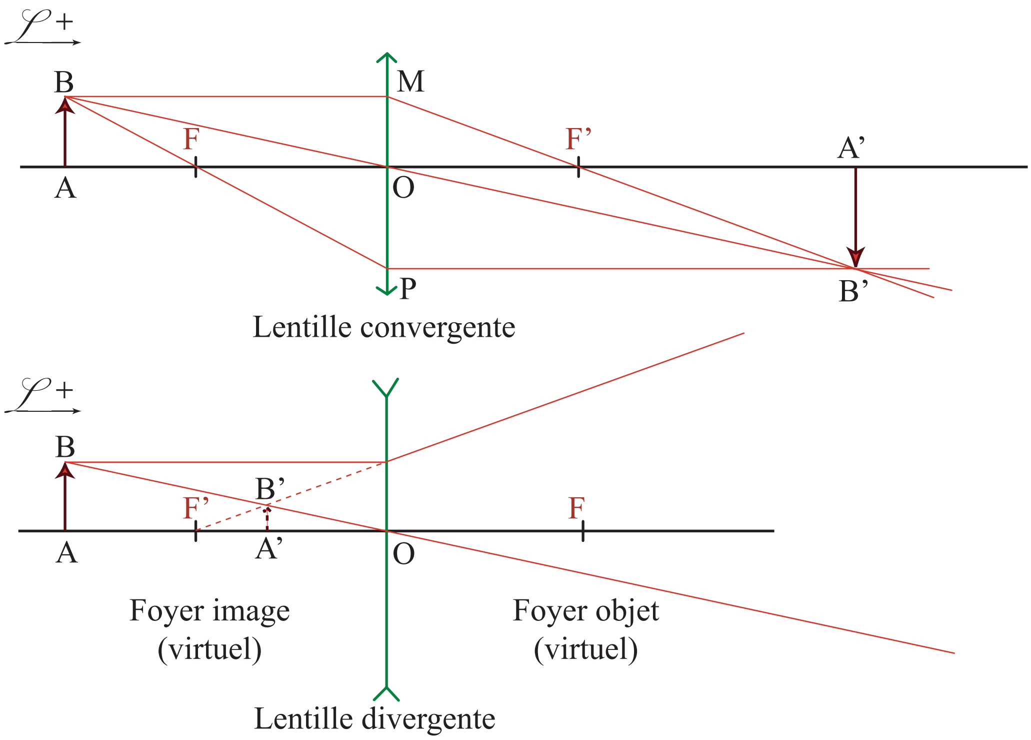


FIGURE 1.14: *Chemin optique à travers une lentille convergente et divergente*

1.5.3 Relation de conjugaison, grandissement

Dans ce chapitre, nous démontrons les principales relations reliant la taille et la position des objets et des images réelles ou virtuelles sur l'axe optique orienté.
Dans le triangle MB'P de la figure 1.14, on trouve d'après le théorème de Thales,

$$\frac{\overline{OF'}}{\overline{OA'}} = \frac{A'B'}{AB + A'B'} \tag{1.5.1}$$

On effectue la même opération dans le triangle MBP, on trouve :

$$\frac{\overline{OF}}{\overline{OA}} = \frac{AB}{AB + A'B'} \tag{1.5.2}$$

En additionnant membre à membre ces deux relations on démontre que :

$$\frac{\overline{OF'}}{\overline{OA'}} + \frac{\overline{OF}}{\overline{OA}} = \frac{AB + A'B'}{AB + A'B'} = 1 \tag{1.5.3}$$

en tenant compte de l'égalité,

$$\overline{OF} = -\overline{OF'} \quad (1.5.4)$$

On trouve :

$$\frac{\overline{OF'}}{\overline{OA'}} - \frac{\overline{OF'}}{\overline{OA}} = 1 \quad (1.5.5)$$

Ce qui pour finir nous permet de déterminer, la première expression appelé relation de conjugaison. Elle relie les distances, lentille-objet et lentille-image et distance focale.

$$\frac{-1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \quad (1.5.6)$$

Posons les notations suivantes : $p = \overline{OA}$, $p' = \overline{OA'}$ et $f' = \overline{OF'}$ la relation de conjugaison s'écrit alors :

$$\frac{-1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{\bar{f'}} \quad (1.5.7)$$

Nous définirons le grandissement d'un dispositif optique par la relation :

$$\Gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \quad (1.5.8)$$

Ce qui pourra aussi être noté :

$$\Gamma = \frac{A'B'}{AB} \quad (1.5.9)$$

Définition : La vergence d'une lentille est donnée par l'inverse de la distance focale. notée

$$c = \frac{1}{f}$$

elle est positive dans le cas d'une lentille convergente ou négative dans le cas d'une lentille divergente. Elle s'exprime en dioptrie (δ) et son utilité est immédiate dans le cas d'association de lentilles. En effet, pour deux lentilles accolées les vergences s'ajoutent $c = c_1 + c_2$. Ce qui permet de connaître par exemple la distance focale de l'association d'une lentille convergente et d'une lentille divergente ou dans le cas du microscope de connaître la distance focale finale de l'ensemble et de la relier au grandissement du dispositif optique.

1.5.4 L'oeil humain

L'oeil est l'organe de la vision ; il permet de transformer la lumière issue du milieu extérieur en un influx nerveux interprétable par le cerveau. Celui-ci reconstitue les images des objets ainsi que la perspective associé grâce à l'association des images provenant de ses deux yeux.

Le cerveau interpréte aussi la différence de longueur d'onde de chaque rayonnement comme une couleur, ce qui lui permet, par association de ces différentes informations, d'appréhender le monde qui l'entoure.

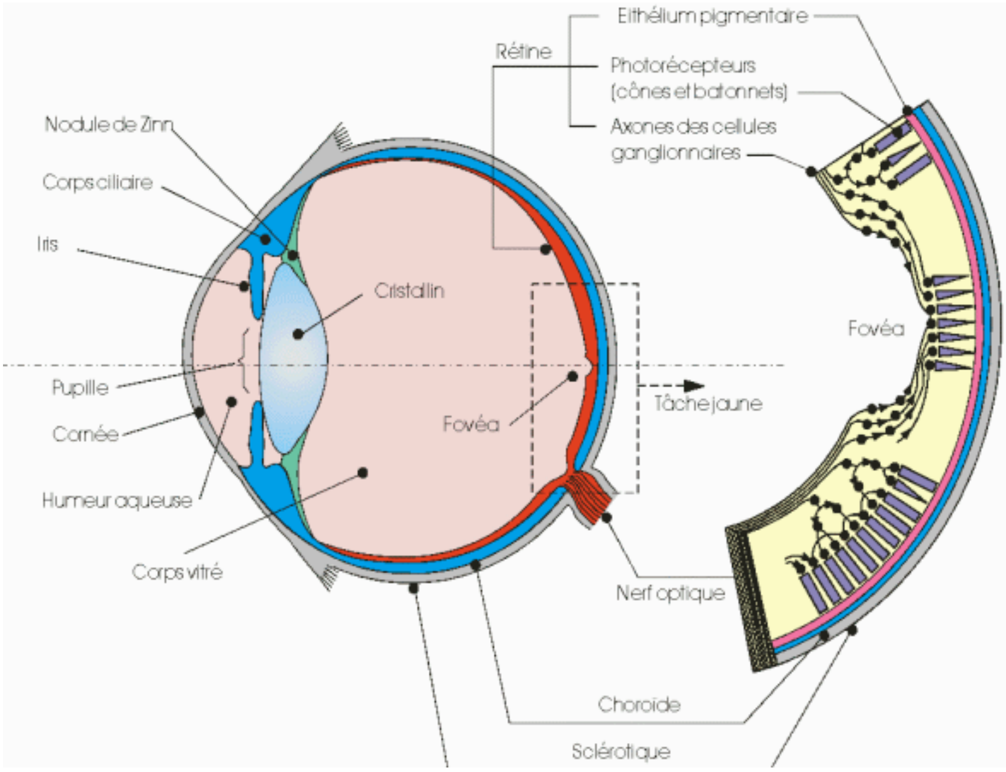


FIGURE 1.15: *Description anatomique de l'oeil*

Son rôle est fondamental dans l'utilisation de n'importe quel instrument d'optique. Dans le fonctionnement de l'oeil, le cristallin est considéré comme une lentille mince déformable permettant d'ajuster la distance focale en fonction de la distance oeil-objet, de façon à ce que l'image se forme sur la rétine.

Un oeil normal reconstitue, sans effort, les images provenant de l'infini. Le point le plus éloigné de l'oeil et permettant d'avoir une image rétinienne nette est appelé **PUNCTUM REMOTUM R**. Suivant le même principe, par accommodation [6], l'oeil peut voir des objet à distance finie. Le point le plus proche pour lequel on peut voir un objet net est appelé **PUNCTUM PROXIMUM P**. En général ce point correspond à une distance oeil-objet de l'ordre de 20 à 30 cm.

Il existe cependant des défauts liés à la qualité du cristallin. En effet lorsque celui-ci vieillit, il devient moins élastique, de même il peut dès la naissance être déformé. Ceci donne lieu à diverses anomalie de la vision qui sont de nos jours réparées trés facilement, par le port de

6. L'accomodation s'effectue sous l'action des nodules Zinn qui déforment le cristallin de façon à ce que la distance cristallin-objet corresponde via la relation de conjugaison, à la distance cristallin-rétine.

lunettes ou dans des cas beaucoup plus rares par une intervention chirurgicale.

1.5.4.1 Myopie

Lorsque la distance focale du cristallin est trop courte et ne coincide pas avec la rétine, c'est à dire un oeil trop convergent, le **PUNCTUM REMOTUM R** est à distance finie[7], et le **PUNCTUM PROXIMUM P** est plus proche de la cornée que pour un oeil normal. La correction est très simple puisqu'il suffit de porter des lunettes avec des lentilles divergentes.

1.5.4.2 Hypermétropie

L'oeil n'est pas assez convergent. La distance focale du cristallin est trop longue et les images vont se former à l'arrière de l'oeil, derrière la rétine. Le **PUNCTUM REMOTUM R** est virtuel tandis que le **PUNCTUM PROXIMUM P** est plus éloigné de la cornée que dans le cas d'un oeil normal. L'oeil hypermétrope accommode en permanence, ce qui est une cause de fatigue. La correction de l'hypermétropie est possible en plaçant une lentille convergente devant l'oeil.

1.5.4.3 Astigmatie

Le cristallin est déformé et n'a plus de symétrie de révolution ce qui entraîne une déformation de l'image provenant des bords de la vision. Une fois l'anomalie détectée, il suffit de placer une lentille déformante qui va corriger les erreurs du cristallin.

1.5.4.4 Presbytie

Un oeil presbyte est un oeil dont le cristallin se relâche sous l'effet du vieillissement. Ce défaut se rapproche de l'hypermétropie mais les causes sont différentes.

1.5.5 Loupe, oculaire, microscope

Une loupe est un dispositif optique composé d'une lentille convergente dont le principe est de donner une image virtuelle agrandie d'un objet AB à travers la lentille. Le principe de la loupe consiste à placer l'objet AB entre le foyer objet F et le centre O de la lentille suivant la construction de la figure 1.16

7. on ne voit pas ce qui se passe au loin

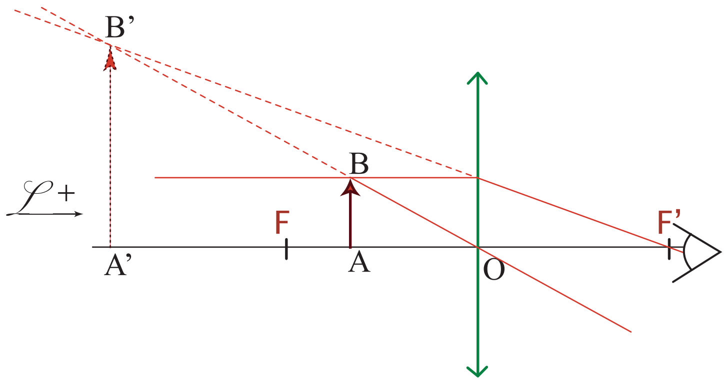


FIGURE 1.16: *Principe de construction de la loupe*

Ce principe a été généralisé pour tout un ensemble de dispositifs (jumelles, goniomètre, spectroscope, microscope), dont la pièce en contact avec l'oeil que l'on nomme oculaire a exactement la même fonction qu'une loupe.

Le dispositif le plus utilisé par les biologistes est le microscope qui regroupe deux lentilles convergentes nommées respectivement objectif et oculaire. L'objectif est une lentille dont la distance focale est très faible (de l'ordre du millimètre) et qui donne à travers l'objectif une image réelle renversée qui va venir se former entre le foyer objet de l'oculaire et son centre optique. L'oculaire se comporte alors comme une loupe et en positionnant l'oeil proche de l'axe optique, on visualise l'image virtuelle de l'objet A'B' renversée et agrandie plusieurs milliers de fois.

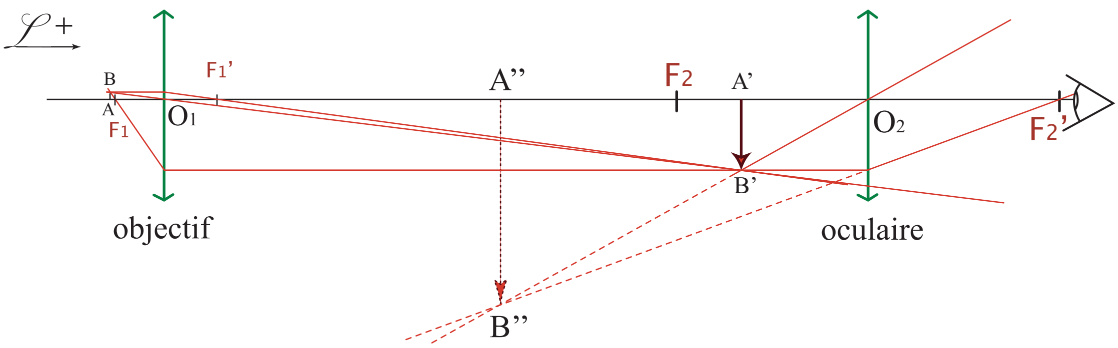


FIGURE 1.17: *Principe de fonctionnement du microscope optique*

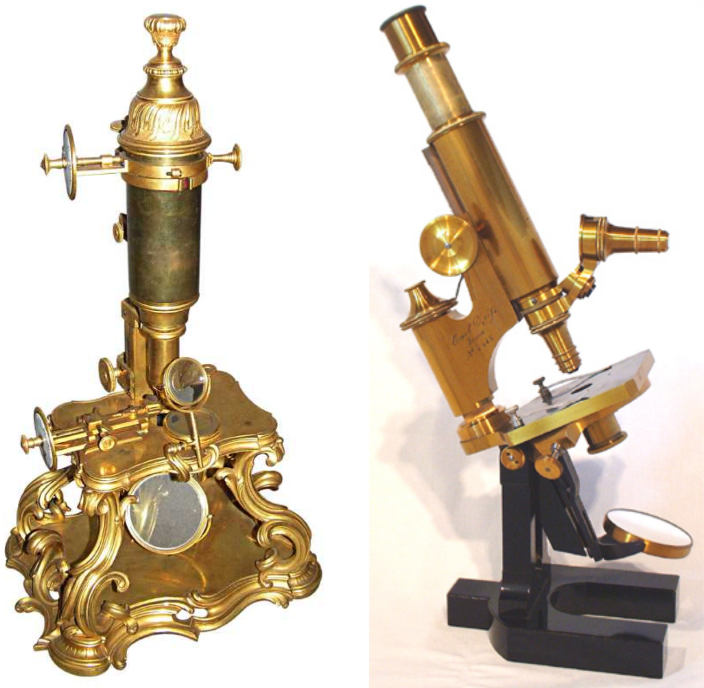


TABLE 1.1 : *Premiers microscopes à avoir été utilisés pour visualiser le très petit (sources wikipédia)*