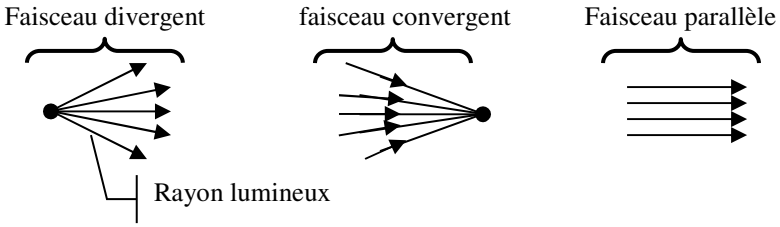
OPTIQUE GEOMETRIQUE : GÉNÉRALITÉS

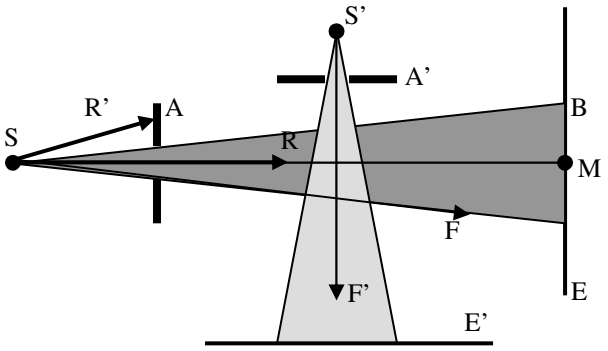
1- Principe de l'optique géométrique :

Dans l'étude de la lumière rencontrant les objets d'échelle macroscopique, la petitesse des longueurs d'onde ($\lambda \sim 10^{-7}$m) du visible vis à vis des grandeurs des objets qu'elle rencontre ($L \sim$1cm et plus) a permis d'élaborer une théorie géométrique de la propagation des ondes lumineuses appelée "*L'optique géométrique*".

On appelle *rayon lumineux* la droite ou portion de droite suivi par la lumière. Un *faisceau lumineux* est l'ensemble des rayons émis par une même source. Un faisceau lumineux peut être *divergent* si les rayons lumineux s'éloignent les uns des autres, *convergent* s'ils se rapprochent, *parallèle* si les faisceaux qui le constituent sont parallèles entre eux.



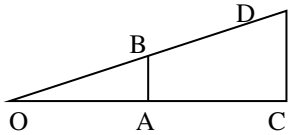
L'optique géométrique est basée sur trois principes :
Principe 1- Propagation rectiligne : Dans un milieu *homogène, transparent* et *isotrope*, les rayons lumineux se propagent en *lignes droites*
Principe 2- Indépendance des rayons lumineux : Il existe des *rayons lumineux* qui restent indépendants les uns des autres (pas d'interaction entre eux).
Principe.3. Les rayons lumineux, traversant la surface de séparation entre deux milieux différents, obéissent aux lois de **Snell-Descartes**.



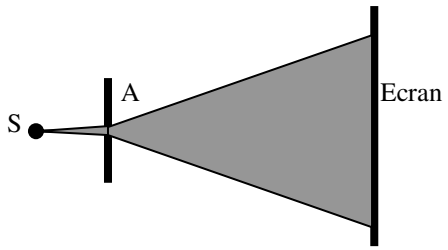
L'expérience schématique ci-dessus illustre les deux premiers principes. Deux sources ponctuelles S et S' émettent de la lumière qui traversent les ouvertures A et A' et viennent éclairer les écrans E et E'. On vérifie que la zone éclairée sur chaque écran est homothétique[1] de l'ouverture correspondante A ou A'. Le centre d'homothétie étant S et S'. Ceci confirme la validité du premier principe.

Si maintenant on modifie l'ouverture de A, on constate que l'éclairement en M ne varie pas. C'est à dire que le fait qu'un rayon tel que R', passe ou ne passe pas à travers A, ne modifie en rien la propagation du rayon R. Ceci implique qu'il y'a indépendance des rayons lumineux issus d'une même source. Enfin la source S' qu'elle soit

[1] l'homothétie dans le triangle est donnée par $\frac{OC}{OA} = \frac{CD}{AB}$

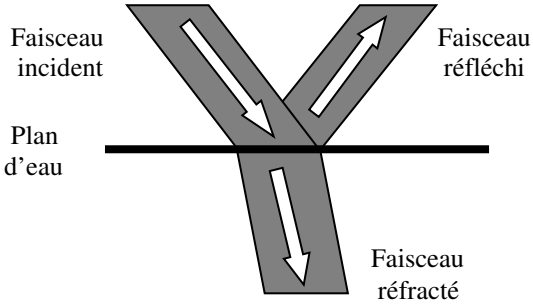


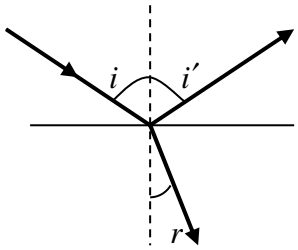
éteinte ou allumée ne produit aucun changement au point M. En d'autres termes les rayons lumineux F et F' se propagent indépendamment dans la même région.
La validité de ces principes cesse lorsque les dimensions des objets rencontrés par la lumière sont du même ordre de grandeur que la longueur d'onde. Si l'ouverture A devient très petite, la zone éclairée sur l'écran n'est plus homothétique de l'ouverture en A. Les dimensions de cette zone croissent même quand le diamètre de l'ouverture diminue. C'est la diffraction, phénomène que l'on peut expliquer par l'optique ondulatoire.



En conclusion les principes de l'optique géométrique restent valables tant que la lumière ne traverse pas des ouvertures étroites, ce que l'on évite précisément dans les instrument d'optique.

Faisons arriver un faisceau parallèle de lumière de longueur d'onde donnée (*Lumière monochromatique*) à la surface d'un plan d'eau additionnée de fluorescéine, pour rendre ainsi visible les trajets lumineux.
On observe :
a- Un faisceau cylindrique *réfléchi* par la surface de l'eau.
b- Un faisceau cylindrique *réfracté* à travers la surface de l'eau.





Les lois relatives à ces deux phénomènes : la ré*flexion* et la *réfraction* décrivant le comportement des rayons lumineux, à la séparation de deux milieux, s'appellent les lois de *Snell-Descartes*.

1ère loi : Les rayons incident, réfléchi et réfracté sont contenu dans un même plan appelé *plan d'incidence*.

2ème loi : *L'angle de réflexion* i' est égale à *l'angle d'incidence* i.

3ème loi : Il existe un rapport constant entre le sinus des angles d'incidence et de réfraction. la constante ne dépend que de la nature des milieux (1) et (2). Elle est appelée indice du second milieu par rapport au premier et noté $n_{2/1}$.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{2/1}$$

Certaines considérations permettent de dire que l'indice relatif de deux milieux (1) et (2) est le quotient de leurs indices par rapport à un autre milieu (3) pris comme référence.

$$n_{2/1} = \frac{n_{2/3}}{n_{1/3}}$$

Le vide est alors pris comme référence et son indice est l'unité.
On définit *l'indice absolu* d'un milieu (1), noté maintenant n_1, par son indice par rapport à l'air $n_{2/air}$.

Il vient que :

$$n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Et en définitif, la 3ème loi devient :

$$n_1 \times \sin i = n_2 \times \sin r$$

Remarque : L'indice de réfraction n d'un milieu a une signification physique. l'indice de réfraction représente le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide c et la vitesse de la lumière dans ce milieu v.

$$n = \frac{c}{v}$$

Cas particulier $n_1 < n_2$:

On dit que l'on passe d'un milieu (1) *moins réfringent* vers un milieu (2) *plus réfringent*.
la loi de Descartes nous donne que :

$$n_1 \times \sin i = n_2 \times \sin r$$

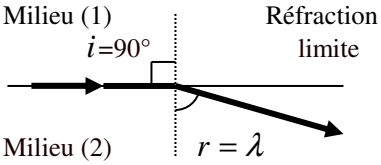
Nous en déduisons que :

$$n_1 < n_2 \Leftrightarrow \sin i > \sin r \Leftrightarrow i > r$$

L'angle de réfraction est toujours plus petit que l'angle d'incidence. L'angle d'incidence $i \in [0, \pi/2]$, il en découle que $r \in [0, \lambda]$.

où λ appelé *angle de réfraction limite*, est donnée par :

$$\sin \lambda = \frac{n_1}{n_2}$$



Si l'angle d'incidence est maximale $i = \pi/2$, l'angle de réfraction sera égale la l'angle λ :
C'est *la réfraction limite*.

Cas particulier $n_1 > n_2$:

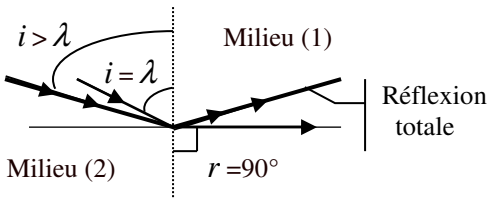
On dit que l'on passe d'un milieu (1) plus réfringent vers un milieu (2) moins réfringent.
De la relation de Descartes, on déduit que :

$$n_1 > n_2 \Leftrightarrow \sin i < \sin r \Leftrightarrow i < r$$

l'angle d'incidence est plus petit que l'angle de réfraction. $i \in [0, \lambda]$ alors que $r \in [0, \pi/2]$.

C'est r qui atteindra la valeur de $\pi/2$, alors que i atteindra la valeur de l'angle limite λ , donnée par :

$$\sin \lambda = \frac{n_2}{n_1}$$



Si maintenant l'angle d'incidence venait à dépasser la valeur de λ, la loi de Descartes n'est plus valable et le phénomène de *réflexion totale* apparaît. la surface se comporte comme un miroir.

Remarque : le sinus de l'angle limite λ est le rapport de l'indice le plus petit sur l'indice le plus grand.

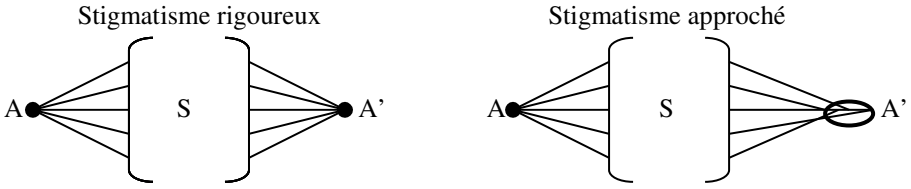
2- Systèmes optique : Stigmatisme, Réalité et Virtualité.

On appelle système optique un ensemble de surfaces réfléchissantes et/ou transparentes ayant *une face d'entrée* et *une face de sortie* des faisceaux lumineux. Il existe deux classes de systèmes optiques :

- Les *systèmes dioptriques* que la lumière traverse de bout en bout, en ne subissant que des réfractions.
- Les *systèmes catadioptriques* où la lumière subit une série de réfraction et se trouve renvoyée par une réflexion dans sa direction initiale.

2-1. Le stigmatisme :

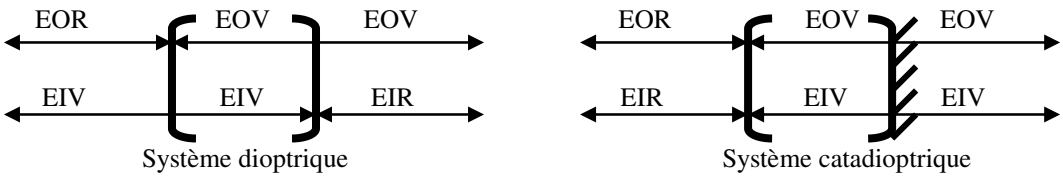
Un point lumineux A envoie des rayons lumineux vers un système optique S. On dit qu'il y a *un stigmatisme rigoureux* si tous les rayons qui sortent se S passent tous par un seul point A'.
A est appelé le *point objet* et A' le *point image*. On dit que A' est une image rigoureusement stigmatique de A par rapport au système optique S.



A l'exception du miroir plan, le stigmatisme rigoureux est très rarement réalisé. En réalité, les rayons qui sortent du système passent tous à l'intérieur d'une région entourant A'. A un point objet A correspond une tache image A'. Cette tache étant destiné à être vue par des instruments imparfaits, elle peut être confondu avec un point si ses dimensions sont réduites. C'est *le stigmatisme approché.*

2-2. Réalité et virtualité :

L'objet est objet réel s'il se trouve avant la face d'entrée du système.
L'objet est objet virtuel s'il se trouve après la face d'entrée du système.
L'image est dite réelle si elle se trouve après la face de sortie du système.
L'image est dite virtuelle si elle se trouve avant la face de sortie du système.
Chaque point de l'espace peut être un point objet ou un point image. L'espace est donc dédoublé : *l'espace objet* et *l'espace image*.
L'espace objet est divisé en deux régions par la face d'entrée du système : Espace Objet Réel (EOR) et Espace Objet Virtuel (EOV).
L'espace image est divisé en deux régions par la face de sortie du système : Espace Image Réel (EIR) et Espace Image Virtuel (EIV).
Pour les systèmes catadioptriques la face d'entrée est aussi une face de sortie



Bibliographie :

1. Physique générale 2. thermodynamique, optique., M. Renaud, D. Silhouette, R. Fourne, édition Academic Press.
2. Comprendre et appliquer l'optique. 1° :optique géométrique, cours et exercices, M. Gabriel, C. Ernst, J. Grange. Collection Comprendre et appliquer, édition Masson.
3. Physique générale 3, ondes, optique et physique moderne, D.C. Giancoli, édition DeBoeck université.
4. Biophysique PCEM 1, D. Farhi & R. Smadja, édition ESTEM.