

## Chapitre 1 : Principes et lois de l'optique géométrique

### I-Introduction

L'optique géométrique est la branche de la physique qui étudie tout ce qui concerne la lumière. On distingue l'optique géométrique dans laquelle on s'appuie sur quelques principes simples utilisant la notion de rayon lumineux, et l'optique physique dans laquelle on tient compte de la nature ondulatoire de la lumière.

### II- Généralités sur la lumière

La lumière visible par l'être humain correspond à des ondes dont la longueur d'onde  $\lambda$  est comprise entre 400 et 780nm.

$$(U.V) \ 400nm \leq \lambda \leq 780nm \ (I.R)$$

| Couleur                 | Longueur d'onde (nm) |
|-------------------------|----------------------|
| Limite de l'ultraviolet | 400                  |
| Violet                  | 420                  |
| Bleu                    | 470                  |
| Vert                    | 530                  |
| Jaune                   | 580                  |
| Orange                  | 600                  |
| Rouge                   | 650                  |
| Limite de l'infrarouge  | 780                  |

La longueur d'onde  $\lambda$  dans le vide, la fréquence  $\nu$  et la période  $T$  sont liées par :

$$\lambda = C.T = \frac{C}{\nu}$$

Où C est la vitesse de la lumière dans le vide.  $C = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

## Les sources de lumière

### 1- Le soleil

Le soleil constitue la principale source de lumière. L'ozone de la stratosphère absorbe le rayonnement U.V, la vapeur d'eau absorbe une partie du rayonnement I.R.

### 2- Les sources incandescentes

De nombreux corps émettent de la lumière lorsqu'ils sont portés à une température plus au moins élevée, parmi ces sources, on peut citer :

- La lampe de filament de tungstène, c'est la lampe à incandescence usuelle.
- Les lampes à halogènes, ce sont des lampes à filament de tungstène contenant de la vapeur d'iode. La température plus élevée permet d'avoir une plus grande intensité lumineuse. L'ampoule de la lampe est en quartz en raison de la température élevée atteinte.

### 3- Les lasers

C'est actuellement la principale source de lumière monochromatique, la lumière émise possède les propriétés suivantes :

- Elle est très monochromatique, sa longueur d'onde est connue avec une très grande précision.
- Elle constitue une source pratiquement ponctuelle.
- La puissance peut être faible pour les lasers utilisés usuellement, comme elle peut être considérable pour certains lasers à impulsions.

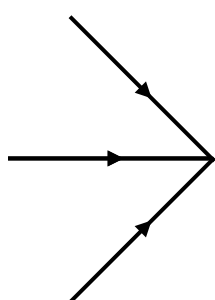
## III Principes et lois.

### III.1 Propagation de la lumière.

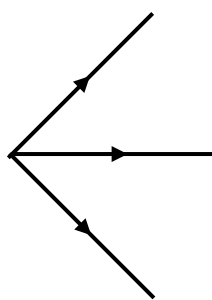
Dans un milieu homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite, la trajectoire de la lumière constitue un rayon lumineux.



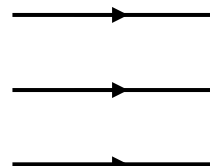
Un ensemble de rayons lumineux constitue un faisceau lumineux. Un faisceau est dit convergent si tous les rayons se dirigent vers un point, divergent si tous les rayons sont issus du même point et parallèle si tous les rayons sont parallèles entre eux.



Faisceau convergent



Faisceau divergent



Faisceau parallèle

On appelle milieu homogène un milieu dont les propriétés sont les mêmes en tous les points. Dans un tel milieu, la lumière se propage en ligne droite. Dans le cas contraire, il est dit inhomogène.

Un milieu est dit isotrope si les propriétés sont identiques dans toutes les directions.

Un milieu transparent est un milieu qui laisse passer la lumière sans atténuation (eau, verre,...), il est absorbant s'il ne laisse passer qu'une partie de la lumière. En réalité, tous les milieux sont plus au moins absorbants. A la limite, un milieu est opaque s'il ne laisse pas passer de la lumière.

### III-2 Indice de réfraction

Dans un milieu homogène et isotrope, on définit l'indice de réfraction  $n$  par,

$$n = \frac{C}{V}$$

$C$  étant la vitesse de propagation de la lumière dans le vide et  $V$  la vitesse de propagation dans le milieu considéré.

#### Remarques :

- L'indice de réfraction dépend de la nature du milieu.
- L'indice de réfraction dépend également de la fréquence de la lumière utilisée. On dit alors que le milieu est dispersif. La plupart des milieux transparents ont un indice qui vérifie assez bien la formule simplifiée de Cauchy :

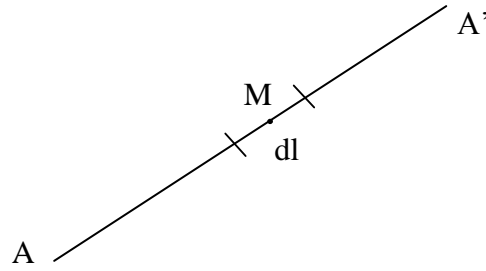
$$n = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

- La différence  $n_{\text{violet}} - n_{\text{rouge}}$  caractérise la dispersion du milieu.
- La vitesse de la lumière dans le vide est la plus grande que l'on connaisse.

| Milieu | air | Eau  | Verres    |
|--------|-----|------|-----------|
| Indice | 1   | 1,33 | 1,5 – 1,8 |

### III-3 Chemin optique

Soit un milieu transparent isotrope, mais pas nécessairement homogène, l'indice de réfraction  $n$  du milieu pouvant varier d'un point à un autre pour une radiation monochromatique donnée. Un rayon lumineux qui se propage dans ce milieu peut subir des réflexions et des réfractions.



Soient A et A' deux points situés sur ce rayon. Soit M, un point de ce rayon et  $n$  l'indice de réfraction du milieu de propagation au voisinage de M. Soit  $dl$  un élément de rayon centré en M. On appelle chemin optique élémentaire autour de M :  $dL = n dl$

Si le milieu est homogène, son indice de réfraction est constant d'un point à un autre et le chemin optique de A à A', noté  $[AA']$  est donné par :

$$[AA'] = \int_A^{A'} n \cdot d\ell = n \int_A^{A'} d\ell = n \cdot \ell$$

Où  $\ell$  est la longueur du segment AA'

Remarque :

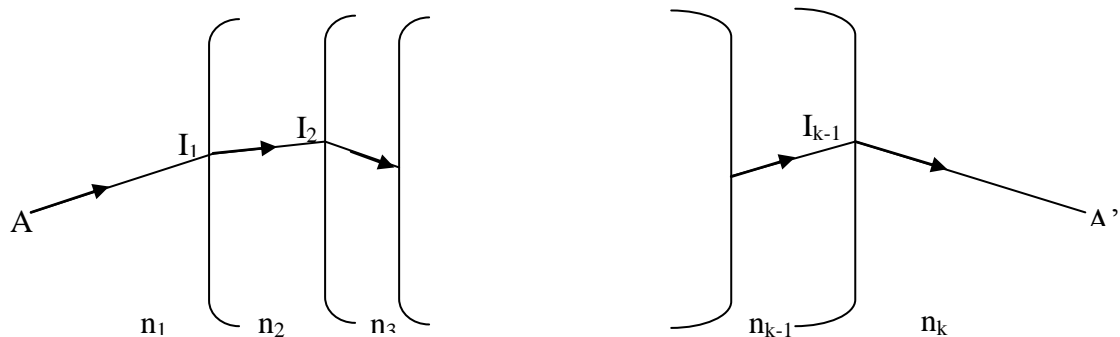
Comme  $n = \frac{c}{v}$  et  $d\ell = v dt$ , alors :  $[AA'] = \int_A^{A'} \frac{c}{v} \cdot v dt = \int_A^{A'} c \cdot dt = c t_{AA'}$ ,

$t_{AA'}$  : temps pour aller de A à A'. Le chemin optique représente la distance que parcourt la lumière dans le vide pendant la même durée.

Exemple :

Si la lumière se propage sur une distance de 20 cm dans un milieu d'indice  $n=1,5$ , le chemin optique correspondant est  $L=1,5 \cdot 20 = 30\text{cm}$ . La lumière parcourt donc dans le vide pendant le même temps une longueur de 30cm

Considérons maintenant une suite de milieux homogènes d'indices  $n_1, n_2, \dots, n_k$ , le trajet du rayon lumineux est une suite de segments de droites.

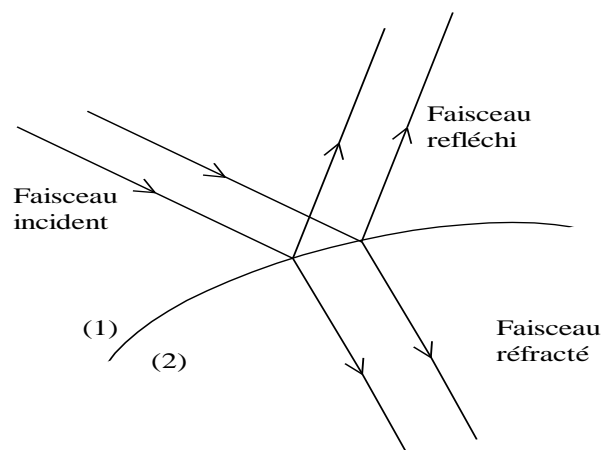


$$L=[AA']=n_1 A I_1 + n_2 I_1 I_2 + \dots + n_k I_{k-1} A' = n_1 l_1 + n_2 l_2 + \dots + n_k l_k,$$

$$L = [AA'] = \sum_i n_i l_i$$

### III-4 Passage de la lumière d'un milieu dans un autre.

Soient deux milieux isotropes, transparents et homogènes (1) et (2) séparés par une surface S. Le faisceau lumineux monochromatique se propageant dans le milieu (1) et tombant sur (S) sera appelé faisceau incident. Une partie de la lumière est renvoyée dans le milieu (1), c'est le faisceau réfléchi, une autre partie pénètre dans le milieu (2), c'est le faisceau réfracté.

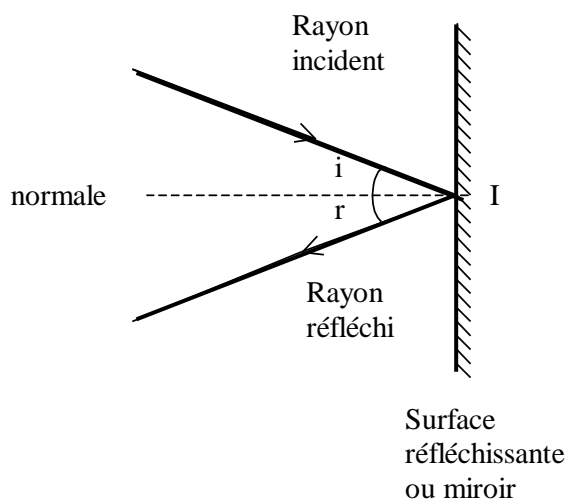


### III-5 Lois de l'optique géométrique.

La réflexion et la réfraction obéissent à des lois, les lois de Descartes.

#### III-5.1 Lois de Descartes pour la réflexion

Lorsqu'un rayon lumineux arrive sur une surface réfléchissante, il est réfléchi suivant les lois de Descartes.



Le point I où le rayon incident rencontre la surface réfléchissante est dit point d'incidence. Le plan contenant le rayon incident et la normale à la surface réfléchissante au point d'incidence est appelé plan d'incidence.

- Première loi :

Le rayon incident et le rayon réfléchi sont contenus dans le plan d'incidence.

- Deuxième loi :

Le rayon réfléchi est symétrique du rayon incident par rapport à la normale au miroir

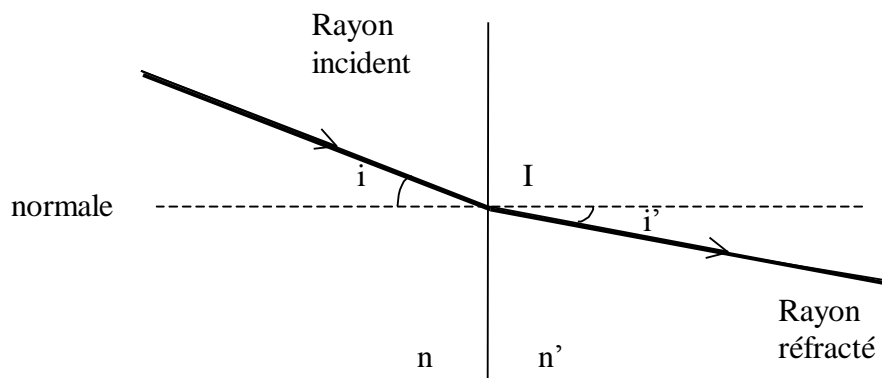
$$|i| = |r|$$

i : angle d'incidence

r : angle de réflexion.

### III-5.2 Lois de Descartes pour la réfraction.

Lorsqu'un rayon arrive d'un milieu d'indice n vers un autre milieu différent d'indice n', il est dévié de sa trajectoire suivant les lois de Descartes.



- Première loi :

Le rayon incident et le rayon réfracté sont contenus dans le plan d'incidence.

- Deuxième loi

Les angles d'incidence i et de réfraction i' sont tels que :

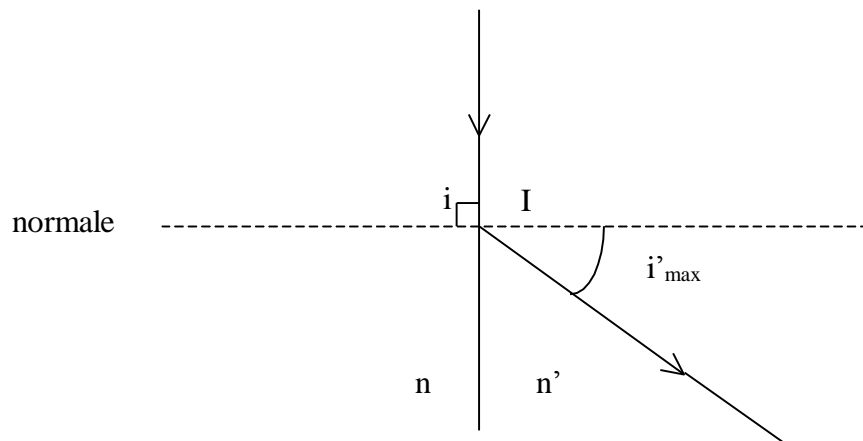
$$n \cdot \sin i = n' \cdot \sin i'$$

### III-6 Réfraction limite et réflexion totale.

Soit un rayon lumineux qui se propage d'un milieu d'indice n vers un milieu d'indice n'

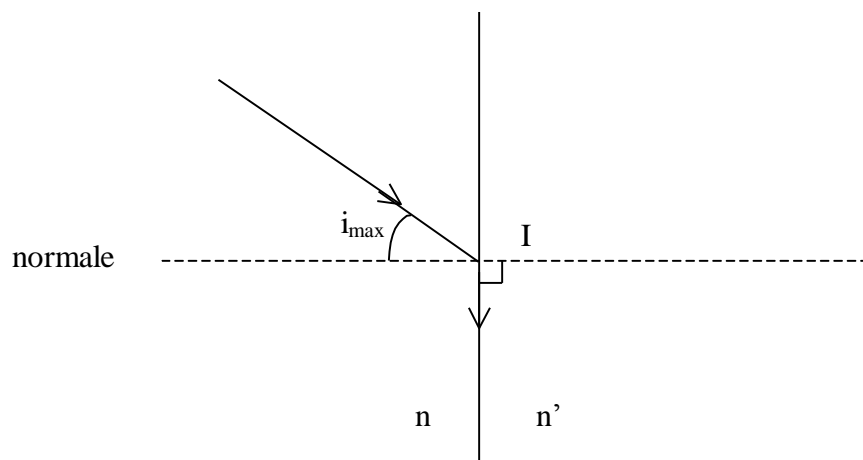
**\*1<sup>er</sup> cas ; n < n'**

La relation  $n \sin i = n' \sin i'$  montre que i et i' varient dans le même sens mais que  $i' < i$ , la valeur maximale de i est  $\pi/2$ , la valeur maximale de i' est alors  $\sin i'_{\max} = n/n' < 1$ , i' existe toujours, dans ce cas le rayon réfracté existe toujours



**\*2<sup>ème</sup> cas ;  $n > n'$  :**

Ici  $i < i'$ , le rayon réfracté est plus éloigné de la normale que le rayon incident. L'angle  $i'$  n'existe que lorsque  $\sin i' \leq 1$ ,  $\sin i_{\max} = n'/n$ .

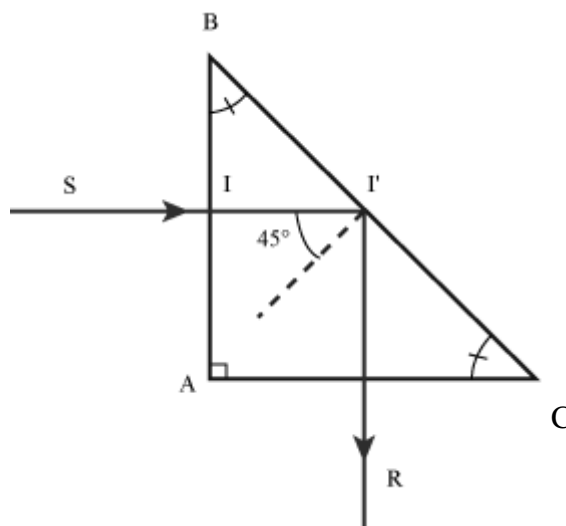


Lorsque  $i' > i_{\max}$  il n'y a plus de rayon réfracté, toute la lumière est réfléchi : c'est la réflexion totale, l'angle  $i_{\max}$  correspond à la réfraction limite.

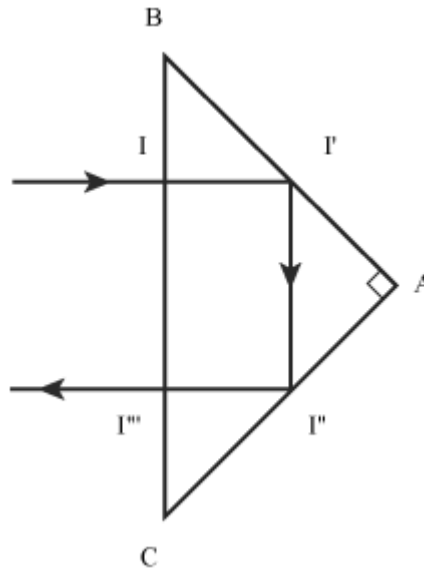
## Applications

### 1- Prisme à réflexion totale

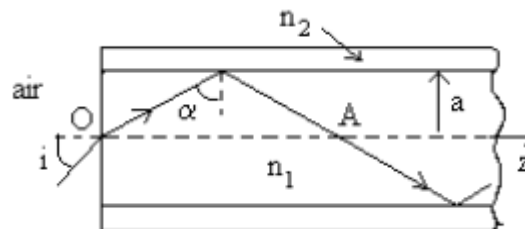
Considérons le prisme suivant taillé dans du verre d'indice  $n=1,5$  plongé dans l'air.



L'angle critique sur la face BC est  $\ell = \arcsin(1/1,5) = 42^\circ$  inférieur à l'angle d'incidence  $i = 45^\circ$  sur cette face qui se comporte comme un miroir (réflexion totale). Le rayon incident et le rayon émergent sont perpendiculaires. Si le rayon incident est normal à la face BC du prisme, on aura une double réflexion totale et le rayon émergent est parallèle au rayon incident mais se propage dans le sens opposé.



## 2- Fibres optiques à saut d'indice



Les fibres optiques sont constituées de deux câbles cylindriques coaxiaux appelés cœur et gaine. La gaine est fabriquée dans un matériau d'indice  $n_2$  alors que le cœur est fait d'un matériau d'indice  $n_1$  tel que  $n_1 > n_2$ . Tout rayon qui pénètre dans la fibre sous un angle  $i$  tel que l'angle d'incidence  $\alpha$  sur le dioptré cœur gaine soit supérieur à l'angle critique d'incidence, subira une réflexion totale. Le rayon subit encore une réflexion totale lorsqu'il tombe de nouveau sur le dioptré cœur-gaine. Le rayon est ainsi piégé à l'intérieur de la fibre.

### III-7 Principe du retour inverse de la lumière.

Le trajet de la lumière entre deux points situés sur un même rayon lumineux est indépendant du sens de propagation de la lumière entre ces deux points, c.à.d. si l'on inverse



les rayons incident et réfléchi ou réfracté, les lois de la réflexion ou de la réfraction sont inchangées.

### III-8 Principe de l'indépendance des rayons lumineux.

Dans un milieu homogène, les rayons lumineux issus d'une même source ou de sources distinctes se propagent sans se gêner.

### III-9 Couleur des objets.

Les objets réfléchissent la lumière de façon sélective, certaines radiations sont absorbées. La couleur d'un objet est la couleur des radiations qu'il réfléchit. Lorsque toutes les couleurs sont réfléchies, l'objet paraît blanc. Lorsque toutes les radiations sont absorbées, l'objet est noir.

### III-10 Principe de Fermat.

Un rayon lumineux qui se déplace d'un point à un autre suit une trajectoire qui, comparativement aux autres trajectoires voisines, lui demande un temps minimum, maximum ou constant ; en général il s'agit d'un minimum. Les lois de la réflexion et de la réfraction peuvent se déduire de ce principe.

## IV- Formation des images.

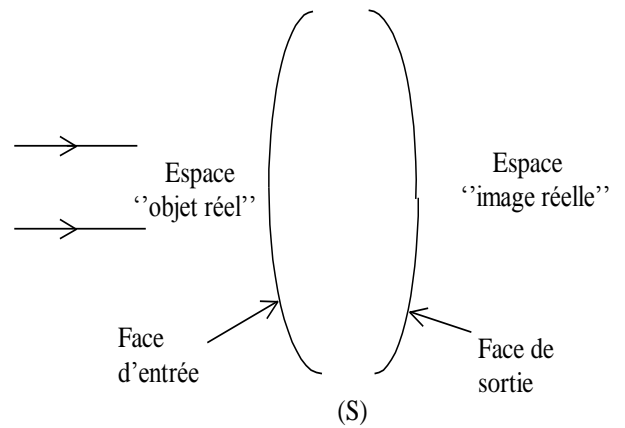
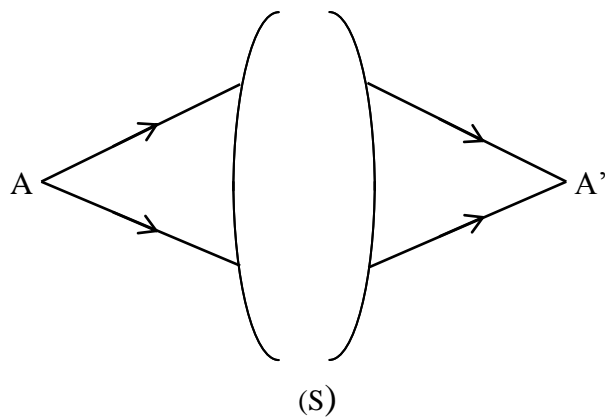
### IV.1 Système optique

Un système optique est l'ensemble des milieux transparents (homogènes et isotropes) séparés par des surfaces réfléchissantes (miroirs) ou réfractantes (dioptries). Un système optique est dit centré s'il possède un axe de symétrie. On distingue trois sortes de systèmes :

- systèmes dioptriques : uniquement des dioptries.
- Systèmes catadioptriques : miroirs et dioptries.
- Systèmes catoptriques : uniquement des miroirs.

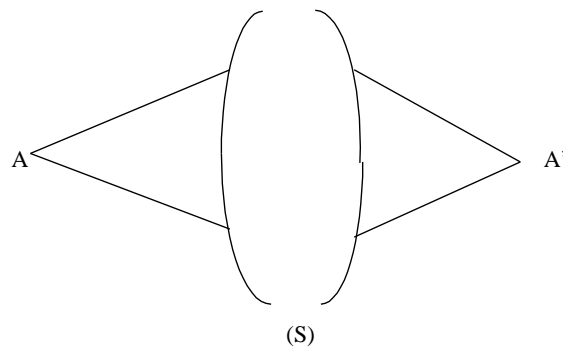
### IV.2 Image d'un point.

Soit un système quelconque (S) et soit une source ponctuelle placée en un point A. Si toute la lumière issue de A vient converger en un point A', on dit que A' est l'image de A à travers (S). Le système optique (S) divise l'espace en un espace « objet réel » situé en avant de la face d'entrée et un espace « image réelle » situé en arrière de sa face de sortie.



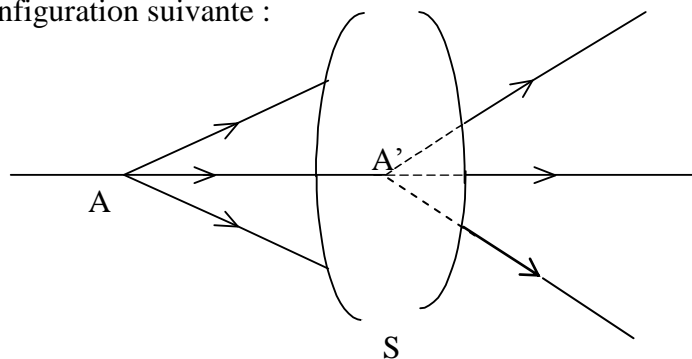
### Objet réel, image réelle.

Dans ce cas, après passage à travers le système optique, tous les points issus de A convergent en un point A'. Puisque tous les rayons passent effectivement par le point A', celui-ci est une image réelle. Un point image est réel s'il est le sommet d'un faisceau lumineux qui émerge du système en convergeant.



### Objet réel, image virtuelle.

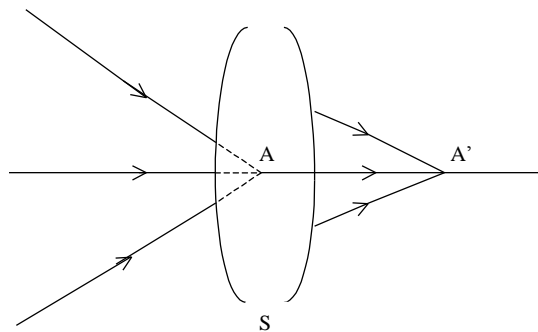
Soit la configuration suivante :



Après la traversée du système optique (S), tous les rayons issus du point A (objet réel) semblent provenir d'un point A'. Ce point A' est une image de A, mais c'est une image virtuelle, car les rayons ne passent pas effectivement par le point A'. Un point image est virtuel s'il est le sommet d'un faisceau lumineux qui émerge du système en divergeant.

### Objet virtuel, image réelle.

Ici, le point objet A n'est pas réel car les rayons lumineux ne passent pas effectivement par A. On dit que A est un objet virtuel, par contre l'image A' est réelle car tous les rayons passent effectivement par A'. Un objet est virtuel s'il est le sommet d'un faisceau qui entre dans le système en convergeant.



### IV-3 Stigmatisme.

Un système optique est **stigmatique**, si d'un objet ponctuel A, il donne une image ponctuelle A'. La plupart des instruments d'optique utilisés (lentilles, miroirs, ...) ne forment pas *parfaitement* l'image des objets, c'est-à-dire que les rayons issus A ne passent pas tous par A'. Si c'était le cas on aurait un **stigmatisme rigoureux**. Mais ces instruments permettent toutefois d'avoir des images de relativement bonne qualité. On parle alors de **stigmatisme approché**. Un système centré est approximativement stigmatique dans les conditions suivantes :

- Les rayons sont peu inclinés par rapport à l'axe optique (l'angle qu'ils font par rapport à l'axe optique est faible),
- les rayons sont proches de l'axe optique (par comparaison à la taille des instruments d'optique).

Les rayons sont alors dits **paraxiaux**. Ces conditions sont appelées "conditions de stigmatisme approché de Gauss"

### IV-4 Aplanétisme

Un système optique est aplanétique si un objet plan perpendiculaire à l'axe optique donne une image plane perpendiculaire à l'axe optique.

