

## CHAPITRE 1 : Principes de base de l'optique géométrique

L'optique est la branche de la physique qui s'intéresse aux phénomènes lumineux. L'optique décrit la lumière comme un ensemble de rayons lumineux, obéissant à un ensemble de règles géométriques très simples. Elle n'est valable que lorsque la lumière n'est pas confrontée à des obstacles de petites tailles. Elle permet d'étudier les phénomènes de réflexion et de réfraction et fournit les bases pour une première étude des instruments d'optique. On n'y spécifie pas la nature de la lumière.

L'optique géométrique a de très nombreuses applications. Par exemple :

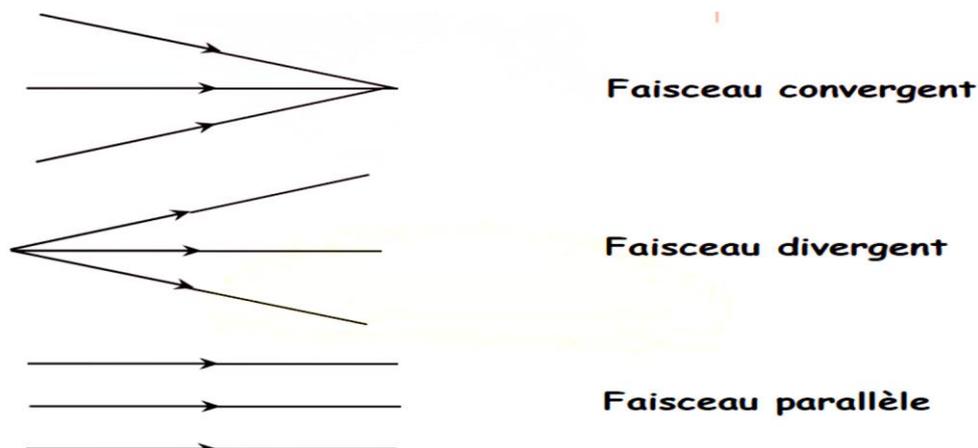
- la focalisation des rayons lumineux par exemple dans les fours solaires
- le guidage de la lumière (fibres optiques)
- la formation des images dans les instruments d'optique (télescopes, microscopes, projecteurs vidéo, appareils photo, caméra de cinéma, loupe, jumelles, lunette astronomique.
- elle permet de comprendre la vision humaine (et des animaux) et de corriger ses éventuels défauts.

### 1. Rayon lumineux

#### 1.1. Définition

L'optique géométrique est basée sur l'hypothèse suivante : un faisceau de lumière peut être divisé en sous-faisceaux arbitrairement fins que l'on peut étudier de façon indépendante.

Dans la limite où ces sous faisceaux sont infiniment fins, on obtient des lignes unidimensionnelles appelés rayons lumineux. Plus simplement, on appelle rayon lumineux la trajectoire effectivement suivie par la lumière.



La notion de rayons lumineux est une idéalisation qui malgré ses limites (tant qu'on n'essaie pas de les dépasser) constitue un outil puissant pour étudier la propagation de la lumière.

## 1.2. Propagation en ligne droite

Un milieu est homogène s'il a même composition en tous ses points.

Un milieu est isotrope si ses propriétés sont les mêmes dans toutes les directions.

Le principe de base de l'optique géométrique est le suivant : dans un milieu transparent, homogène et isotrope, les rayons lumineux sont des droites.

## 1.3. Sources lumineuses

Dans le cadre de l'optique géométrique, une source est simplement considérée comme un dispositif dont sont issus des rayons lumineux. Une source lumineuse est un système physique émettant de la lumière. Plusieurs processus physiques conduisent à l'émission de la lumière (accélération de charges électriques, etc.) et il existe de nombreux types de sources différentes :

- les sources thermiques par exemple les lampes à incandescence, les bougies, le soleil,
- les sources spectrales par exemple les lampes à vapeur de sodium
- les lasers.

## 1.4. Réversibilité de la propagation de la lumière

L'expérience montre que la propagation de la lumière est réversible. Si un rayon est émis par une source en  $A$  et se propage jusqu'au point  $B$ , une source en  $B$  peut émettre un rayon qui se propage en sens inverse jusqu'au point  $A$  quels que soient le chemin  $AB$  et les milieux dans lesquels la lumière se propage. C'est le principe du retour inverse de la lumière.

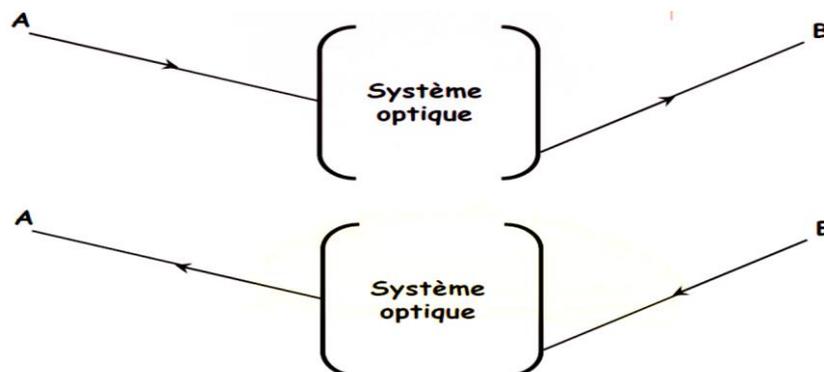


Illustration du principe du retour inverse de la lumière

## 2. Lois de Snell-Descartes

Les lois de Snell-Descartes sont les lois fondamentales de l'optique géométrique.

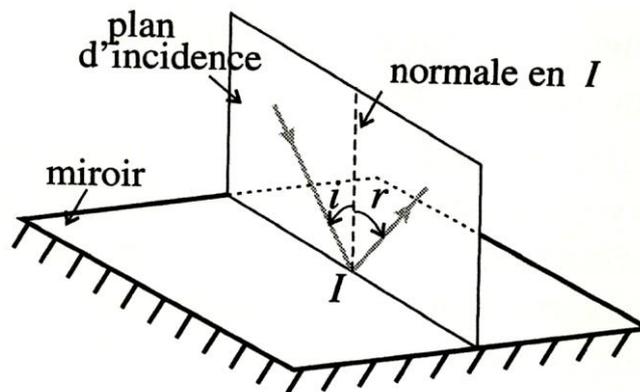
## 2.1. Lois de Snell-Descartes pour la réflexion

### 2.1.1. Réflexion d'un rayon lumineux

Quelques définitions utiles :

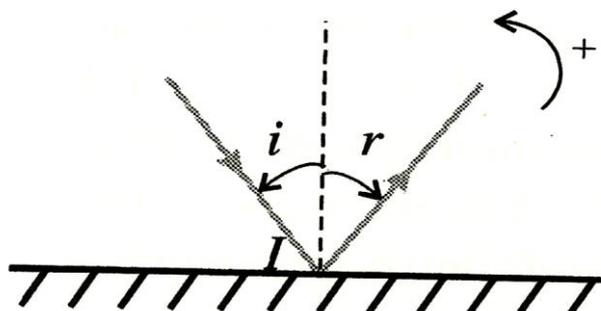
- On appelle **normale à une surface**, la direction perpendiculaire à cette surface non plane, la direction de la normale dépend du point considéré
- On appelle **rayon incident** le rayon lumineux auquel on s'intéresse et qui donnera lieu à un rayon réfléchi
- On appelle **plan d'incidence** le plan contenant à la fois le rayon incident et la normale à la surface (au point atteint par le rayon incident). Si le rayon incident est dirigé selon la normale, il y a une infinité de plus incidents.
- On appelle **angle d'incidence**, l'angle entre le rayon et la normale.

La réflexion consiste en un changement de direction d'un rayon lumineux « rebondissant » sur une surface réfléchissante.



### 2.1.2. Lois de la réflexion

Les angles entre la normale et les rayons incident et réfléchi sont notés  $i$  et  $r$  et appelés respectivement angle d'incidence et angle de réflexion. Ces angles doivent être algébrisés. Il est très important de les prendre toujours de la normale vers les rayons. Leurs signes dépendent du sens positif choisi et sont opposés.



**Les lois de Snell-Descartes pour la réflexion s'énoncent ainsi :**

1. le rayon réfléchi est compris dans le plan d'incidence,
2. les angles d'incidence  $i$  et de réflexion  $r$  sont liés par la relation

$$r = -i$$

Les angles considérés ici sont des angles orientés. Si ce n'était pas le cas, la relation ci-dessous s'écrirait :

$$r = i$$

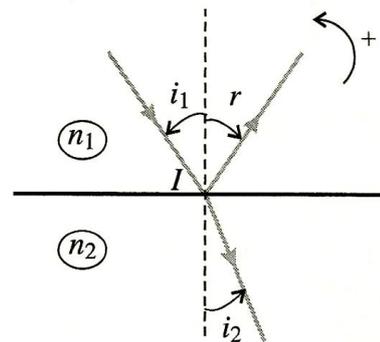
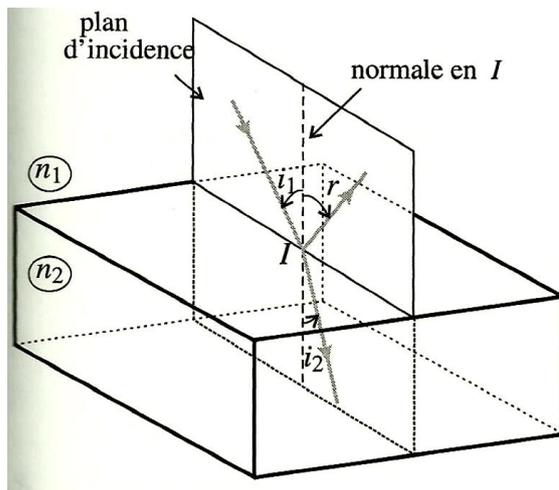
## 2.2. Lois de Snell-Descartes pour la réfraction

### 2.2.1. Réflexion et réfraction sur un dioptre

La surface de séparation entre les 2 milieux transparents est appelée en optique dioptre. Un rayon lumineux arrivant sur un dioptre appelé rayon incident donne en général naissance à deux rayons :

- un rayon réfléchi qui repart dans le milieu du rayon incident
- un rayon transmis qui entre dans l'autre milieu transparent

Le rayon incident suit les lois de Snell-Descartes pour la réflexion. Le rayon transmis n'est pas dans la prolongation du rayon incident : c'est le phénomène de réfraction. Le rayon transmis est aussi appelé rayon réfracté.



### 2.2.2. Lois de la réfraction

On note  $n_1$  l'indice optique du milieu de propagation du rayon incident et  $n_2$  l'indice optique du milieu de propagation du rayon réfracté. Les angles que font ces deux rayons avec la normale au dioptre sont notés  $i_1$  et  $i_2$  et appelés respectivement angle d'incidence et angle de

réfraction. Ces angles sont algébriques et doivent toujours aller de la normale vers les rayons. Leurs signes dépendent du sens positif choisi et sont identiques.

**Les lois de Snell-Descartes pour la réflexion s'énoncent ainsi :**

**1. le rayon réfracté est dans le plan d'incidence**

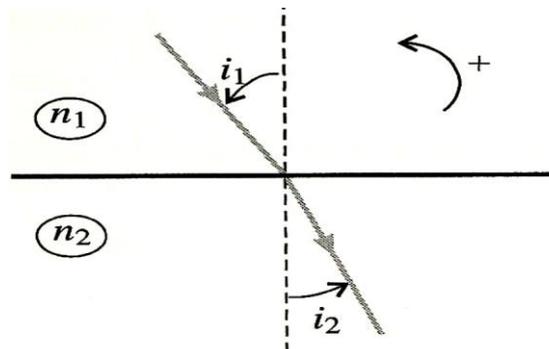
**2. l'angle d'incidence  $i_1$  et l'angle de réfraction  $i_2$  sont liés par la relation :**

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

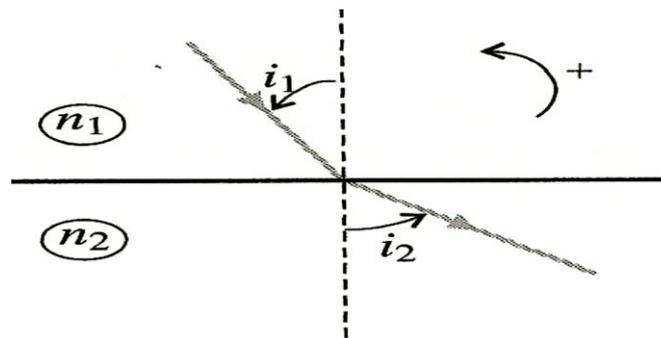
### 2.2.3. Déviation due à la réfraction

Le sens de cette déviation du rayon transmis dépend de l'ordre des indices de deux milieux :

- si le deuxième milieu est plus réfringent que le premier c'est-à-dire si  $n_2 > n_1$  le rayon réfracté se rapproche de la normale.



- si le deuxième milieu est moins réfringent que le premier soit si  $n_2 < n_1$  le rayon réfracté s'écarte de la normale.



**NB : il faut veiller à respecter cette règle lorsqu'on dessine un rayon réfracté.**

### 2.2.4. Phénomène de réflexion totale

Dans le cas où  $n_2 < n_1$  on a  $\sin i_2 = \frac{n_2}{n_1} \sin i_1 > \sin i_1$ . Si  $\sin i_1 = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin i_2 = 1 \Rightarrow i_2 = \frac{\pi}{2}$

. Si  $\sin i_1 > \frac{n_2}{n_1}$  la loi de Snell-Descartes donnerait  $\sin i_2 > 1$  ce qui est impossible. Dans le cas

où le deuxième milieu est moins réfringent, le rayon réfracté n'existe que si l'angle d'incidence  $i_1$  est inférieur à l'angle limite  $\alpha_{lim}$  appelé angle de refraction limite définie par:

$$\sin \alpha_{lim} = \frac{n_2}{n_1}$$

Si  $i_1 > \alpha_{lim}$ , il n'y a plus qu'un rayon réfléchi, c'est le phénomène de réflexion totale. Le phénomène de la réflexion totale est utilisé pour canaliser la lumière par exemple dans les fibres optiques, l'endoscopie, fibroscopie....

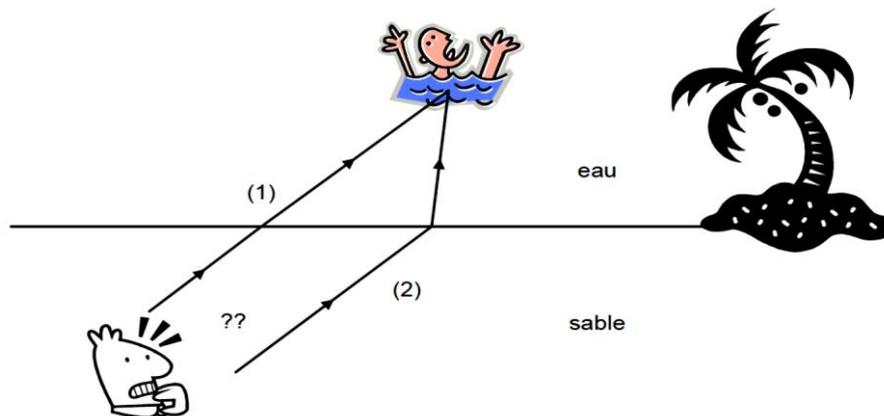
### 3. Lois de Kepler

Si les angles sont faibles, on peut confondre le sinus et la valeur de l'angle en radians. La loi de Snell-Descartes pour la réfraction prend alors la forme approchée dite loi de Kepler

$$n_1 i_1 = n_2 i_2$$

### 4. Principe de Fermat

La lumière choisit toujours, pour aller d'un point à un autre, le chemin ayant le temps de parcours minimal. La figure suivante illustre ce principe par une analogie.



La lumière comme le sauveteur choisira le trajet le plus court : le trajet en ligne droite (1) est plus long que le trajet (2) car on se déplace moins vite dans l'eau que sur le sable... Ce raisonnement s'applique à la lumière si on remplace le sable par l'air (indice  $\sim 1$ ). On montre que ce principe permet d'établir la loi de la réfraction de Snell-Descartes et ainsi que la formule reliant l'indice  $n$  d'un milieu aux vitesses de la lumière dans ce milieu et dans le vide telle que :

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

### 5. Objets et images

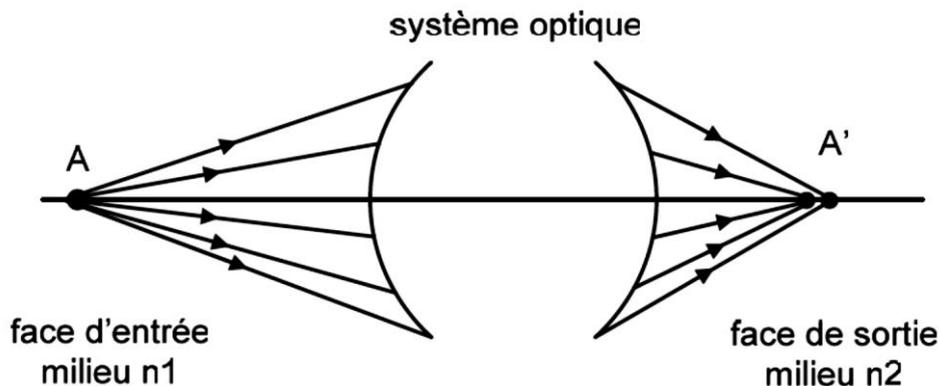
## 5.1. Définitions

### 5.1.1. Objet et image

Soit un point  $A$  : si tous les rayons lumineux issus de  $A$  et passant au travers du système optique arrivent en un point  $B$  alors  $B$  est appelé image de l'objet  $A$ . Du fait du principe de retour inverse de la lumière,  $A$  et  $B$  peuvent changer de rôle (l'objet devient l'image et réciproquement) : on dit que  $A$  et  $B$  sont conjugués.

### 5.1.2. Stigmatisme

Lorsque tous les rayons issus de  $A$  passent en  $A'$  après un système optique, on dit que l'on réalise le "stigmatisme rigoureux" pour le couple  $AA'$ . Cette propriété est très difficile à obtenir dans la réalité, même pour des systèmes simples.



### 5.1.3. Aplanétisme

Soit un système optique possédant un axe de symétrie ou axe optique ; le système est dit centré si cette symétrie est de révolution. On dit que le système est aplanétique si tout objet plan orthogonal à l'axe optique possède une image plane et normale également à cet axe. En général, les systèmes optiques possèdent cette propriété. Exemple : un appareil photo est aplanétique. En effet, en photographiant une personne les pieds et la tête sont bien nets dans le plan de la pellicule.

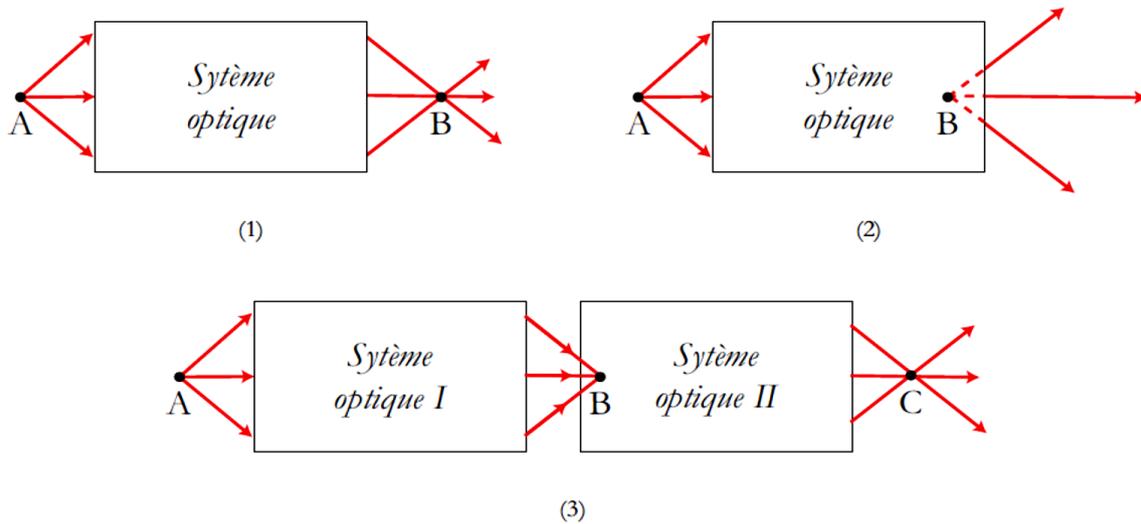
## 5.2. Nature des objets et des images

On distingue, en optique, deux types d'objets et d'images : "réels" et "virtuels". On prend le sens de propagation de la lumière pour définir "l'amont" (le départ) et "l'aval" (l'arrivée) du système optique (miroir, lentilles,...).

- Un objet situé en amont du système optique est réel. S'il est en aval alors l'objet est virtuel.

- Une image située en aval du système optique est réelle. Si elle est en amont alors elle est virtuelle.

Par exemple, les systèmes suivants :



Pour le système (1), le point  $A$  est un objet réel et le point  $B$  une image réelle.

Pour le système (2), le point  $A$  est un objet réel et le point  $B$  une image virtuelle.

Pour le système (3-I), le point  $A$  est un objet réel et le point  $B$  une image réelle.

Pour le système (3-II), le point  $B$  est un objet virtuel et le point  $C$  une image réelle.

Pour le système (3-I + 3-II), le point  $A$  est un objet réel et le point  $C$  une image réelle.