

# INTRODUCTION A L'OPTIQUE

## I.Introduction historique

L'optique est principalement l'étude des phénomènes perçus par l'oeil. La cause de ces phénomènes, la lumière, a été étudiée très tôt dans l'histoire des sciences, au point que tous les principes sur lesquels repose l'optique géométrique et l'optique ondulatoire sont connus depuis 1900.

Alors que les lois de la réflexion de la lumière par un miroir étaient connues des grecs, celles de la réfraction ne furent établies qu'en 1621 par SNELL.

DESCARTES les a retrouvées plus tard en 1677. Si bien, que ces lois sont connues en France sous le nom de lois de DESCARTES.

En 1657, FERMAT retrouve ces lois à partir d'un principe selon lequel la lumière met un temps minimal pour aller d'un point à un autre.

L'aspect ondulatoire de la lumière n'apparaît qu'en 1865 avec HOOKE qui émet l'idée que la lumière est une vibration haute fréquence qui se propage. Cette idée est ensuite développée par HUYGENS.

Au début du XIX<sup>EME</sup> siècle, YOUNG reprend la théorie ondulatoire pour étudier les phénomènes d'interférences.

En 1818, FRESNEL fait une synthèse des idées de HUYGENS et de YOUNG pour étudier les phénomènes de diffraction, c'est à dire pour expliquer la présence de lumière dans les ombres géométriques.

## II.Principe de HUYGENS.

Ce principe est la base de la théorie ondulatoire.

### 1.Énoncé:

La lumière se propage de proche en proche, le lieu des points d'égale perturbation lumineuse est appelé **surface d'onde**. Chacun des points de cette surface se comporte comme une source secondaire, si la surface est plane, l'onde est dite **onde plane**, si la surface est sphérique, l'onde sera appelée **onde sphérique** (onde tournante).

### 2.Indice d'un milieu.

L'indice  $n$  d'un milieu est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide ( $c$ ) et la vitesse de la lumière dans le milieu considéré ( $v$ ).

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

air : 1  
eau : 1.33  
verre : 1.5

Soit  $\Delta s$  la distance parcourue par l'onde pendant le temps  $\Delta t$  et  $v$  la vitesse de propagation de celle ci, on a donc la relation:

$$\Delta t = v \Delta s$$

En introduisant l'indice  $n$ , la durée  $\Delta t$  peut s'écrire:

$$\boxed{\Delta t = n \frac{\Delta s}{c}} \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$n \Delta s = \Delta L \rightarrow \text{chemin optique}$$

On voit ainsi que le chemin optique n'est autre que le chemin parcourue par la lumière dans le vide pendant le temps de propagation considéré.

### 3. Définition du chemin optique.

Le chemin optique  $L_{A_1 A_2}$  entre deux points  $A_1$  et  $A_2$  est la longueur parcourue par la lumière dans le vide pendant le temps  $t_2 - t_1$  qu'elle mettrait à parcourir le même trajet dans le milieu considéré.

$$L_{A_1 A_2} = \int_{t_1}^{t_2} c dt = \int_{\overline{A_1 A_2}} n ds$$

Cette dernière intégrale doit être calculée le long de la direction de propagation de l'onde qui est en tout point normale à la surface d'onde.

## III. Principe de FERMAT et ses conséquences.

### 1. Énoncé du principe.

Entre deux points  $A_1$  et  $A_2$ , le chemin optique le long du trajet effectivement suivi par la lumière est stationnaire.

$$dL_{A_1 A_2} = 0$$

- Remarque: Le principe n'est plus valable si les rayons lumineux ne sont plus indépendants les uns des autres (interférences).

### 2. Conséquences immédiates.

$$L_{A_1 A_2} = n \int_{\overline{A_1 A_2}} ds \quad \text{si } n = \text{Cte} \rightarrow L_{A_1 A_2} = n \overline{A_1 A_2}$$

$\overline{A_1 A_2}$  minimum donc  $\overline{A_1 A_2}$  s'identifie à une droite.

**Dans un milieu homogène, la lumière se propage en ligne droite.**

Considérons dans un milieu quelconque, un rayon passant par deux points  $A_1$  et  $A_2$ , le chemin optique  $L_{A_1 A_2}$  est stationnaire.

$$L_{A_1 A_2} = \int_{\overline{A_1 A_2}} n ds = \int_{\overline{A_2 A_1}} n (-ds) = - \int_{\overline{A_2 A_1}} n ds = L_{A_2 A_1}$$

On détermine donc que le chemin optique ne dépend pas du sens de parcours.

#### IV. Lois de DESCARTES.

Elles expriment le changement de direction d'un rayon lumineux rectiligne à la traversé d'une surface séparant deux milieux homogènes soit par réflexion, soit par réfraction.

Pour établir ces lois à partir du principe de FERMAT, nous allons introduire au préalable la différentielle du chemin optique rectiligne.

##### 1. Différentielle du chemin optique rectiligne.

La longueur du segment AB s'écrit:  $AB = \vec{u} \cdot \overline{AB}$

$\vec{u}$  : vecteur unitaire porté par le rayon dans le sens AB

$$L_{AB} = n AB = n \vec{u} \cdot \overline{AB}$$

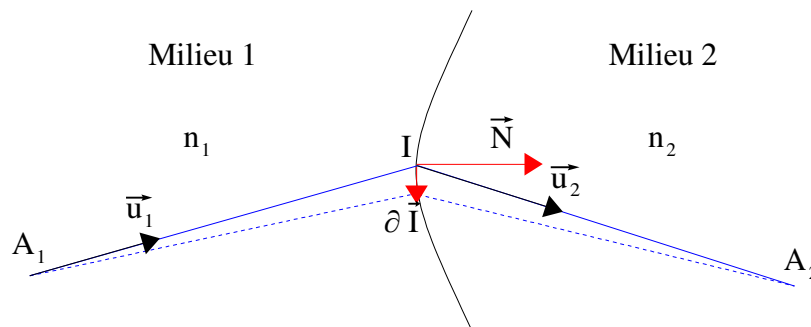
Déformons le segment AB en imposant des variations élémentaires dA et dB aux extrémités:

$$dL_{AB} = n d(\vec{u} \cdot \overline{AB}) = n d\vec{u} \cdot \overline{AB} + n \vec{u} \cdot d\overline{AB} = n d\vec{u} \cdot (\vec{u} \cdot \overline{AB}) + n \vec{u} \cdot d\overline{AB}$$

$$\boxed{dL_{AB} = n \vec{u} \cdot d\overline{AB}}$$

##### 2. Expression vectorielle des lois de DESCARTES.

Considérons un dioptre, c'est à dire une surface séparant deux milieux homogènes d'indice  $n_1$  et  $n_2$  et un rayon lumineux qui tombe sur le dioptre au point I.



Le chemin optique peut s'écrire:

$$L_{A_1 A_2} = n_1 \vec{u}_1 \cdot \overline{A_1 I} + n_2 \vec{u}_2 \cdot \overline{I A_2}$$

Appliquons le principe de FERMAT en déformant la trajectoire  $A_1 I A_2$  selon  $A_1 I' A_2$ :

$$\partial L = n_1 \vec{u}_1 \cdot (\partial \vec{I} - \partial \overline{A_1}) + n_2 \vec{u}_2 \cdot (\partial \overline{A_2} - \partial \vec{I})$$

$$\partial L = n_1 \vec{u}_1 \cdot \partial \vec{I} - n_2 \vec{u}_2 \cdot \partial \vec{I}$$

$$\partial L = -\partial I (n_2 \vec{u}_2 - n_1 \vec{u}_1)$$

Selon le principe de FERMAT, on peut écrire:  $\partial L = 0$

On peut déduire que le vecteur  $n_2 \vec{u}_2 - n_1 \vec{u}_1$  est colinéaire au vecteur normal au dioptre au point I.

$$\boxed{n_2 \vec{u}_2 - n_1 \vec{u}_1 = a \vec{N}} \quad a \in \mathbb{R}$$

• Remarque:  $\vec{u}_2 = \frac{a \vec{N} + n_1 \vec{u}_1}{n_2}$

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

$$n_1 \vec{u}_1 \wedge \vec{N} = n_1 \|\vec{u}_1\| \times \|\vec{N}\| \sin i_1$$

$$n_2 \vec{u}_2 \wedge \vec{N} = n_2 \|\vec{u}_2\| \times \|\vec{N}\| \sin i_2$$

$$\vec{N} \text{ andt } (n_1 \vec{u}_1 - n_2 \vec{u}_2) = a \vec{N} \text{ andt } \vec{N}$$

$$\vec{N} \text{ andt } n_1 \vec{u}_1 - \vec{N} \text{ andt } n_2 \vec{u}_2 = 0$$

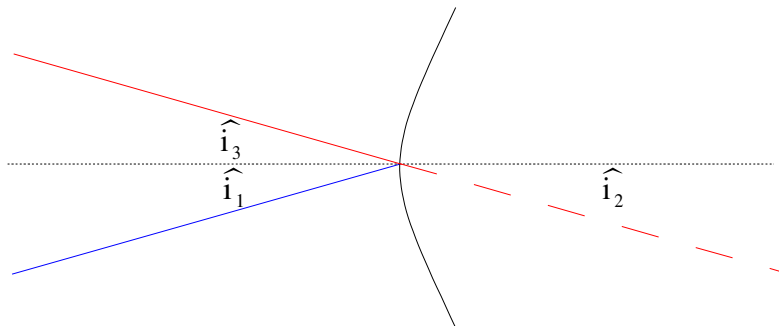
$$n_1 \sin i_1 - n_2 \sin i_2 = 0$$

$$\boxed{n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2}$$

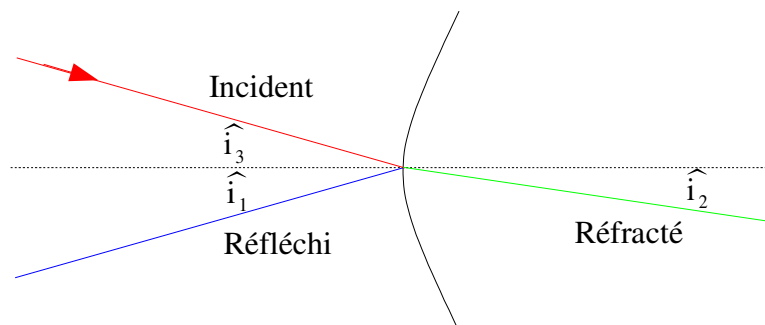
- Cas d'une réflexion:  $n_1 = n_2$

$$\sin i_1 = \sin i_2$$

$$\hat{i}_1 = \hat{i}_2 = \hat{i}_3$$



- Résumé



### 3. Angle de réfraction limite, réflexion totale.

D'après la loi de réfraction on a:  $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

si  $n_1 < n_2$

$$\frac{-n_1}{n_2} \leq \sin i_2 \leq \frac{n_1}{n_2}$$
$$-\lambda \leq \sin i_2 \leq \lambda$$

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

$\lambda$  = Angle de réfraction limite.

Par conséquent, un rayon se dirigeant vers un milieu plus réfringent est toujours réfracté. Si l'angle d'incidence est droit, l'angle de réfraction est appelé angle de réfraction limite.

$$i_1 = \frac{\pi}{2} \rightarrow i_2 = \lambda$$

Considérons maintenant un rayon se dirigeant vers un milieu moins réfringent. Si l'angle d'incidence est inférieur ou égal à l'angle de réfraction limite, le rayon se réfracte comme le laisse prévoir le retour inverse de la lumière. S'il est supérieur à cet angle, il n'y a pas de réfraction, on parle alors de réflexion totale.

$i_1 \leq \lambda \rightarrow$  réfraction

$i_1 > \lambda \rightarrow$  réflexion totale.