

Les lois de la réfraction et la réflexion totale

1. Lois de Snell-Descartes pour la réfraction

Les lois de Snell-Descartes de la réfraction expriment le changement de direction d'un faisceau lumineux lors de la traversée d'une paroi, séparant deux milieux différents. Chaque milieu est caractérisé par sa capacité à « ralentir » la lumière, modélisée par son **indice de réfraction** n qui s'exprime sous la forme :

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

où :

- v est la vitesse de la lumière dans ce milieu ;
- c est la vitesse de la lumière dans le vide.

Exemples : $n_{\text{eau}} = 1.33 = 4/3$
 $n_{\text{diamant}} = 2.42$
 $n_{\text{plexiglas}} = 1.51$

À partir de ces données on peut donc conclure que la lumière se propage environ 2,5 fois moins vite dans le diamant que dans le vide

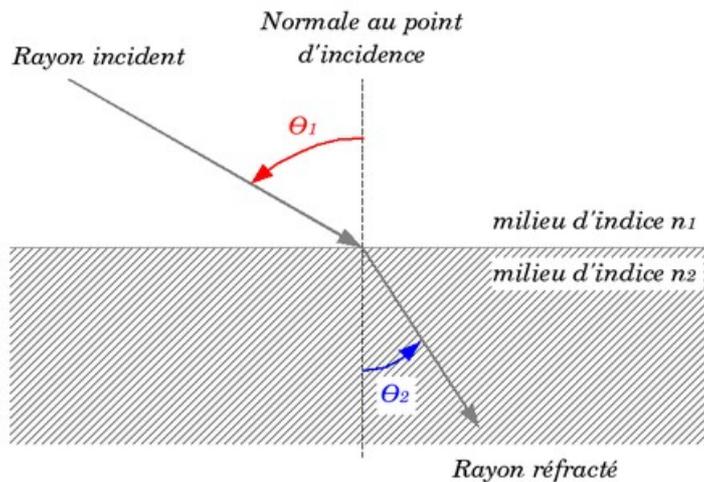


Schéma de la réfraction: le faisceau incident va être dévié selon la loi dite de Snell-Descartes

Le **rayon lumineux** est dit incident avant d'avoir rencontré la surface réfractante (appelée dioptre), il est dit réfracté après.

Le point de rencontre du rayon incident et du dioptre est appelé point d'incidence.

Le plan contenant le rayon incident et la normale au dioptre, au point d'incidence est dit plan d'incidence.

L'angle orienté θ_1 pris entre la normale au point d'incidence et le rayon incident est dit angle d'incidence.

L'angle orienté θ_2 pris entre la normale au point d'incidence et le rayon réfracté est dit angle de réfraction.

Les angles θ_1 et θ_2 sont positifs si orientés dans le sens trigonométrique, négatifs sinon.

Soit n_1 l'indice de réfraction du milieu dans lequel se propage le rayon incident et n_2 celui du milieu dans lequel se propage le rayon réfracté.

Les lois de la **réfraction** s'énoncent ainsi :

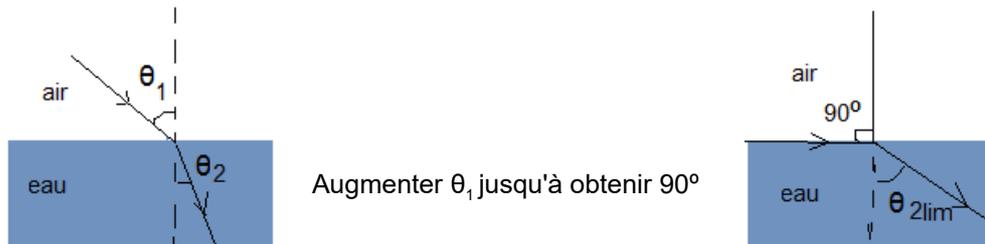
- le rayon réfracté, le rayon incident et la normale (au dioptre) sont dans un même plan, le plan d'incidence ;

- la relation liant les indices de réfraction n_1 et n_2 de chacun des milieux et les angles incident θ_1 et réfracté θ_2 , appelée relation de Snell-Descartes, s'écrit :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$n_1 < n_2 \rightarrow \theta_1 > \theta_2$ lorsque l'angle d'incidence maximal est 90° alors l'angle de réfraction limite est $\theta_{2\text{lim}}$

exemple : $n_1 = 1,0$ (air) $n_2 = 1,33$ (eau)

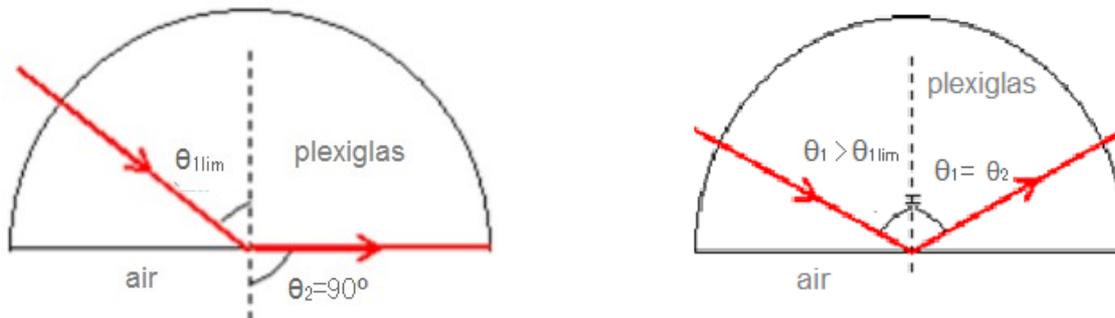


Augmenter θ_1 jusqu'à obtenir 90°

$n_1 > n_2 \rightarrow \theta_1 < \theta_2$, l'angle d'incidence est inférieur à l'angle de réfraction ce qui veut dire que le rayon s'éloigne de la normale à la surface de séparation des deux milieux. À un certain moment, l'angle de réfraction θ_2 atteint la valeur de 90° et l'angle d'incidence θ_1 est appelé angle limite $\theta_{1\text{lim}}$ pour avoir la réfraction.

Une fois θ_1 dépasse cette valeur, on aura réflexion totale.

Exemple : $n_1 = 1,51$ (plexiglas) $n_2 = 1,0$ (air)



2. Réflexion totale et application

Les deux conditions pour avoir la réflexion totale :

- il faut que l'indice de l'incidence n_1 soit supérieur à l'indice de réfraction n_2
- il faut que l'angle d'incidence θ_1 soit supérieur à l'angle de réfraction limite $\theta_{1\text{lim}}$

D'après la loi de Snell-Descartes : $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ l'angle limite $\theta_{1\text{lim}}$ est :

$$n_1 \sin \theta_{1\text{lim}} = n_2 \sin 90^\circ \rightarrow n_1 \sin \theta_{1\text{lim}} = n_2 \rightarrow \theta_{1\text{lim}} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

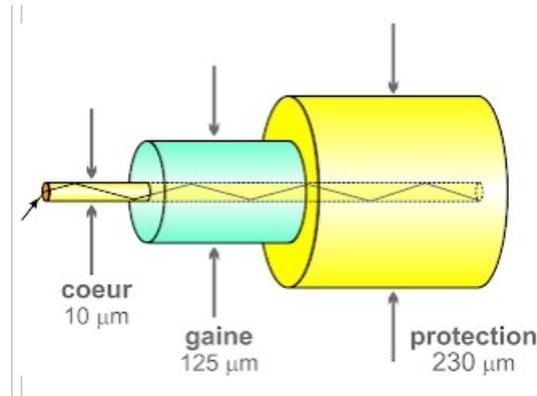
lorsque $\theta_1 > \theta_{1\text{lim}}$ alors il y a réflexion totale, il n'y a plus de réfraction et $\theta_1 = \theta_2$.

Si on prend l'exemple précédent , le rayon reste dans le plexiglas.

2.1 Application : la fibre optique

La fibre optique est un tube mince, transparent et flexible qui sert à transmettre la lumière entre ses deux extrémités. Elle se base sur les différentes propriétés de la réfraction de la lumière.

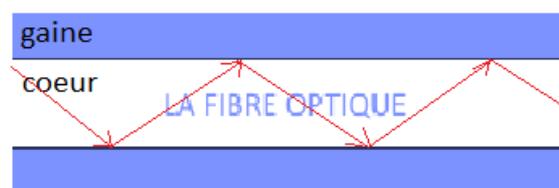
La fibre optique est composée de trois éléments : un cœur, une gaine et un revêtement de protection.



Ainsi, au sein de la fibre optique, chaque constituant a sa propre fonction :

- Le cœur a pour rôle de transmettre la lumière. La fibre optique utilisée pour la transmission de l'information numérique possède un cœur de silice très pur, qui peut être "dopé" afin de modifier son indice de réfraction, nous verrons plus tard pour quelles raisons. La lumière est propagée à l'intérieur du cœur en respectant les lois de la réfraction.
- La gaine protège le cœur. Celle de la fibre optique destinée aux télécommunications est également composée de silice. Ce silice est de moins bonne qualité car la gaine est de moindre importance.
- Le revêtement de protection assure la résistance de la fibre optique. Il facilite la manipulation de la fibre et augmente sa flexibilité.

Soit n_1 l'indice de réfraction du cœur et n_2 l'indice de réfraction de la gaine.



Ainsi, si on fait entrer un rayon lumineux dans le cœur il s'y propagera par réflexions totales successives, de ce fait l'information lumineuse est transmise quasiment sans perte d'un point A à un point B. C'est pourquoi afin d'empêcher le rayon lumineux de sortir du cœur, on dope le silice afin de faire varier son indice de réfraction et ainsi obtenir $n_1 > n_2$.

2.2 Les télécommunications

En télécommunications, la fibre optique est utilisée pour la transmission d'information, que ce soit des conversations téléphoniques, des images ou des données. Les fibres sont utilisées en particulier pour les réseaux à haut débit. Leurs capacités de transmission atteignent des débits de l'ordre du gigabit par seconde



Une seule paire de fibre optiques transporte un débit 10 fois plus fort que 250 paires de fils de cuivre.

2.3 La médecine

La fibre optique est utilisée en médecine tant pour diagnostiquer des problèmes de santé que pour traiter certaines maladies.

Un exemple de cette utilisation est l'endoscope, particulièrement utilisé en gastro-entérologie



un endoscope

La fibre optique interagira par effet thermique avec les tissus : en chirurgie associée à un faisceau laser qui permet de : pulvériser un calcul rénal, découper une tumeur, réparer une rétine...



Chirurgie

2.4 Les capteurs (température et pression, etc.)

La fibre optique sera déformée lorsqu'elle est soumise à une pression, une force, une contrainte ou une variation de température. Il est possible de mesurer ces modifications et de convertir cette mesure en unités de pression, de température ou de force, selon ce qu'on désire mesurer.



Capteur pour mesurer la pression dans les vaisseaux sanguins

2.5 L'éclairage

Dans le domaine de l'éclairage, les fibres optiques sont aussi très utilisées, en muséographie, architecture, et aménagement d'espaces d'agrément public et domestique.

Enfin, dans le balisage, la décoration, la signalétique d'orientation ou encore en signalisation routière, les fibres optiques sont des outils couramment utilisés.

