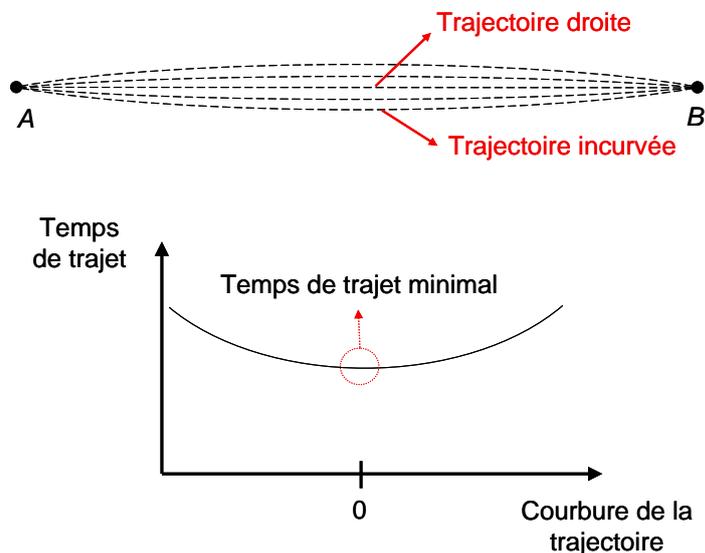


Cours 1 – Réfraction / réflexion

Il suffit de regarder la lumière produite par un pointeur laser, ou un rayon du soleil qui passe entre deux nuages, pour avoir l'intuition que la lumière se propage en ligne droite, dans un milieu homogène. De là émerge naturellement le concept de rayon lumineux. La propagation de la lumière en ligne droite découle du principe de Fermat (1601-1665), dont la version la plus simple s'énonce ainsi : « pour aller d'un point à un autre, la lumière emprunte le plus court chemin ». Ainsi, la lumière ne pourra se propager d'un point A à un point B que selon les trajectoires qui ont la propriété d'être les plus *rapides* : celles pour lesquelles le temps de trajet est minimal, en comparaison avec toutes les autres trajectoires voisines. Sur la figure ci-dessous, c'est bien entendu la trajectoire droite qui correspond à un minimum du temps de trajet.

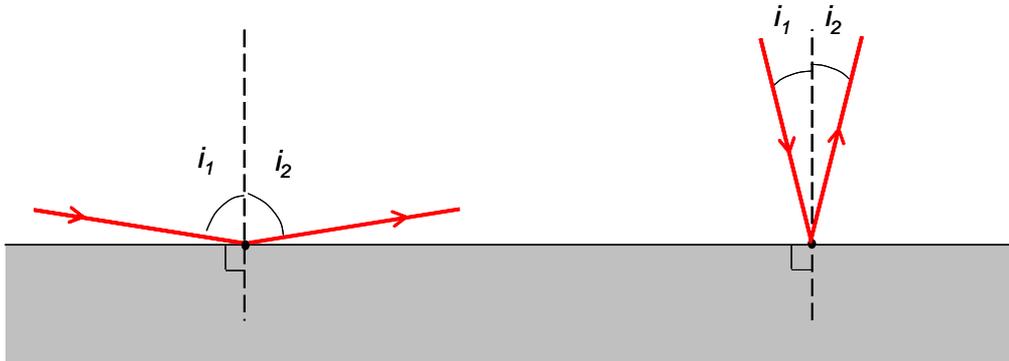


Au delà du principe de Fermat qui décrit la propagation des rayons lumineux, la physique de la lumière tire sa richesse des nombreux mécanismes d'interaction entre la lumière et la matière, par exemple :

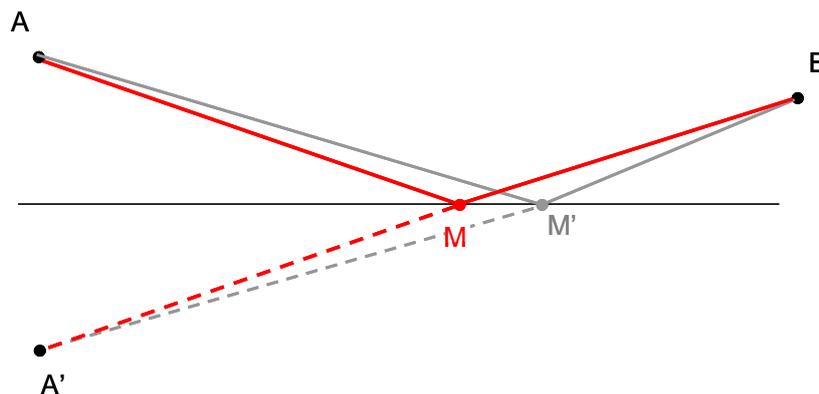
- *Le ralentissement de la lumière dans la matière*, caractérisée par l'indice du milieu : $n=c/v$, où v désigne la vitesse de la lumière dans le milieu et c sa vitesse dans le vide.
- *La réflexion, la transmission/réfraction, et éventuellement l'absorption*, lorsque la lumière pénètre dans un nouveau milieu. La séparation entre deux milieux différents est appelée une « interface ».
- *La diffusion* lorsque la lumière rencontre une surface rugueuse, sur laquelle les rayons lumineux sont dispersés dans toutes les directions. Cette diffusion est ce qui permet parfois d'observer un rayon lumineux même lorsqu'on se trouve en dehors de sa trajectoire : la diffusion par les poussières de renvoie vers notre œil une petite partie de la lumière.
- *L'émission*, enfin, dans le cas de certains objets capables de produire de l'énergie lumineuse (étoiles, lampes, écrans, diodes LED, lasers, etc...).

C'est la combinaison de ces divers processus qui nous permet de VOIR les objets qui nous entourent.

Une des lois les plus simples de la physique de la lumière est la *loi de la réflexion*, qui nous indique que le rayon réfléchi est le symétrique du rayon incident par rapport à la normale à l'interface :



Cette loi peut-être démontrée à l'aide du principe de Fermat en comparant la longueur de la trajectoire réelle (pour laquelle $i_1=i_2$, point d'impact M, trajet AMB) et la longueur d'une trajectoire imaginaire voisine (pour laquelle i_1 différent de i_2 , point d'impact M', trajet AM'B). Le lecteur est invité à étudier la figure ci-dessous et à vérifier que le trajet réel AMB est forcément plus court que tout autre trajet AM'B.



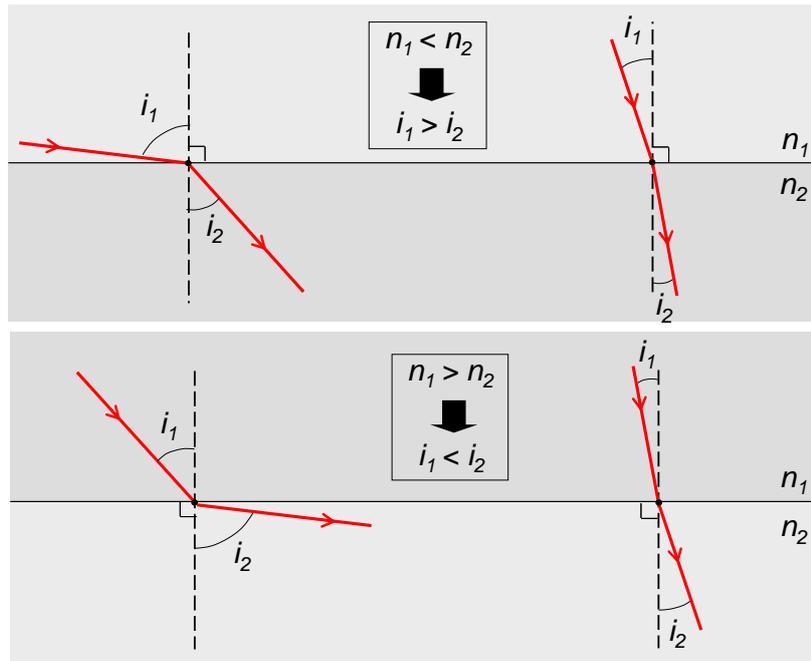
Une autre loi cruciale est la *loi de la réfraction*, ou loi de Snell-Descartes. La réfraction est la déviation d'un rayon lumineux au passage entre deux matériaux différents d'indice optique n_1 et n_2 . La loi de Snell-Descartes relie l'angle i_1 (l'angle que fait le rayon incident avec la normale à l'interface entre les deux matériaux) et l'angle i_2 (que fait le rayon réfracté avec cette même normale), selon :

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

Cette loi peut-être démontrée à partir du principe de Fermat en utilisant le calcul différentiel. Un exemple de démonstration très détaillée, destinée au lecteur débutant souhaitant se familiariser avec les concepts du calcul différentiel, peut être téléchargée en cliquant sur le lien ci-dessous :

Démonstration de la loi de Descartes par le principe de Fermat

A partir de la relation $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$, on constate aisément que lorsque l'indice n_1 est inférieur à n_2 , l'angle i_1 sera supérieur à l'angle i_2 , et vice-versa, comme illustré sur les figures ci-dessous :



Notons toutefois que, dans le cas $n_1 > n_2$, si on utilise des rayons lumineux suffisamment rasants, la quantité $n_1/n_2 \sin i_1$ peut dépasser 1. Dans un tel cas, il n'y a pas d'angle i_2 permettant de satisfaire la loi de Descartes : la réfraction est impossible et la lumière est donc totalement réfléchie à l'intérieur du matériau de fort indice. Ce phénomène de *réflexion totale interne* n'est possible que dans un matériau d'indice plus élevé que le milieu extérieur. Il est à la base du fonctionnement des fibres optiques utilisées dans le réseau internet ou le câble.

La loi de Descartes est également à l'origine du mirage, qui est un phénomène de réfraction/réflexion totale interne pour des rayons de lumière à incidente rasante sur une couche d'air chauffée au ras du sol. Un gradient de température dans l'air (créé par exemple au dessus d'une route en plein soleil) provoque un gradient d'indice, et la lumière est alors réfractée continûment dans ce milieu inhomogène. On reçoit donc des rayons venant du ciel alors que le regard est orienté vers le sol. Différents modèles plus ou moins sophistiqués permettent de décrire ainsi la trajectoire courbe du rayon lumineux. La photographie ci-dessous présente un exemple de mirage sur une route en plein été. La route est sèche, mais les rayons lumineux sont déviés exactement comme s'ils étaient réfléchis par de nombreuses flaques d'eau.



Crédits photo : Michaël Gil / Flickr / CC