

O2. Réflexion et réfraction

A. Généralités

1. Définitions

- Lorsque la lumière arrive à une interface entre deux milieux, elle subit une **réflexion** et une **réfraction**.
- Le rayon incident se propage initialement dans le milieu 1. Il arrive à la surface qui sépare les deux milieux, appelée **interface** (ou **dioptre**). Il se décompose alors en deux rayons : un rayon réfléchi qui se propage dans le milieu 1 et un rayon réfracté qui passe dans le milieu 2 en subissant une déviation.
- On appelle **Normale** (N) la droite perpendiculaire à la surface de séparation.
- Tous les angles sont définis par rapport à cette droite :
 - L'angle d'incidence, i_1 , est l'angle entre le rayon incident et la normale.
 - L'angle de réflexion, r , est l'angle entre le rayon réfléchi et la normale.
 - L'angle de réfraction, i_2 , est l'angle entre le rayon réfracté et la normale.

Schéma à compléter :



2. Lois de Snell et Descartes pour la réflexion :

1- L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion :



2- Le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale sont dans le même plan.

3. Lois de Snell et Descartes pour la réfraction

- Lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu d'indice n_1 dans un milieu d'indice n_2 différent, il est dévié : ce phénomène porte le nom de réfraction.

1- Le rayon incident, le rayon réfracté et la normale sont dans le même plan.

2- La relation qui relie l'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 est :



Les angles sont définis par rapport à la normale.

- **Remarque 1 :** Si $i_1 = 0$, alors
- **Remarque 2 :** Si $n_2 > n_1$ alors

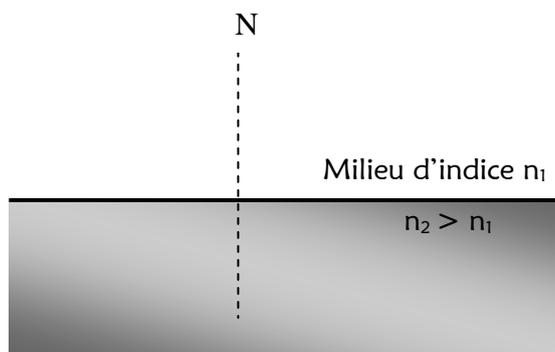
LA REFRACTION LIMITE

Le phénomène de réfraction limite intervient lorsque le milieu 2 a un indice de réfraction plus élevé que le milieu 1 :

Alors, l'angle de réfraction est inférieur à l'angle d'incidence :

La valeur maximale de l'angle d'incidence est de 90° . L'angle de réfraction correspondant est appelé **angle limite de réfraction**.

Compléter :



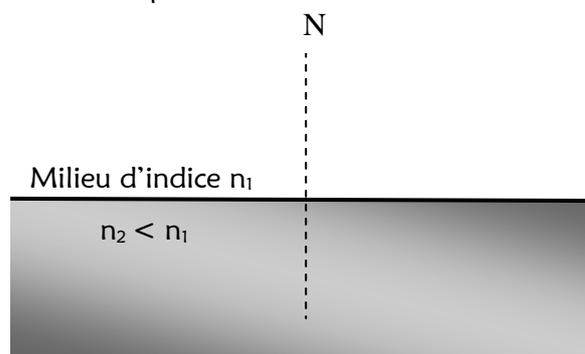
Il se calcule simplement en appliquant la loi de Snell & Descartes :

LA REFLEXION TOTALE

Le phénomène de réflexion totale intervient lorsque le milieu 2 a un indice de réfraction plus faible que le milieu 1 :

Alors, l'angle de réfraction est supérieur à l'angle d'incidence :

Compléter :



La valeur maximale de l'angle de réfraction est de 90° . L'angle d'incidence correspondant est appelé **angle de réflexion totale**.

Il se calcule simplement en appliquant la loi de Descartes :

B. Applications

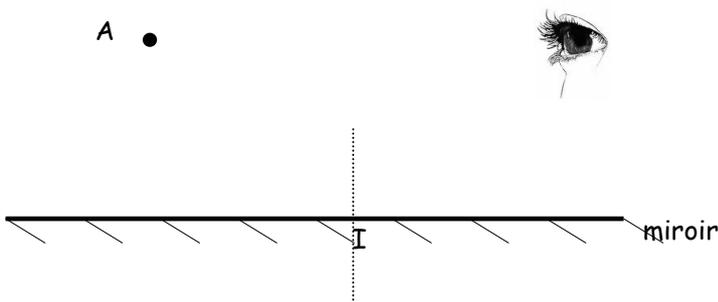
1. Le miroir plan

C'est une surface plane réfléchissante.

L'objet A et son image A' sont symétriques par rapport au miroir : $IA=IA'$.

Si l'objet est réel, l'image est virtuelle et inversement.

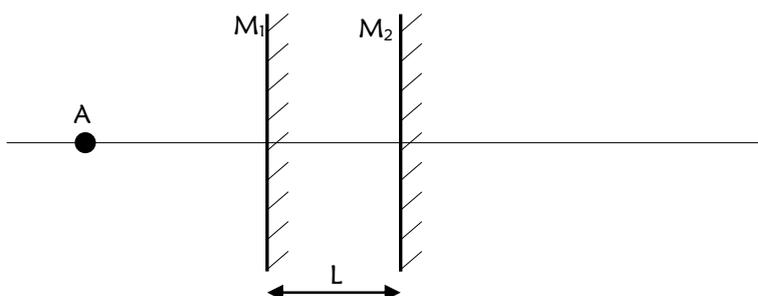
Pour l'œil qui reçoit le rayon réfléchi, tout se passe comme s'il voyait ce rayon provenir de A', image virtuelle !



Translation du miroir

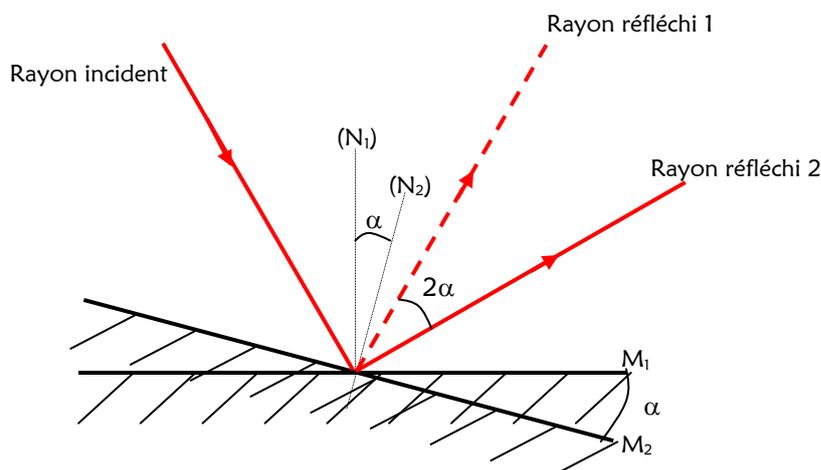
Lorsque le miroir se déplace de L, l'image correspondante se déplace de 2L. Soit A₁ l'image de A par M₁. Soit A₂ l'image de A par M₂.

Compléter :



Rotation du miroir

Lorsque le miroir tourne d'un angle α , le rayon réfléchi tourne d'un angle 2α

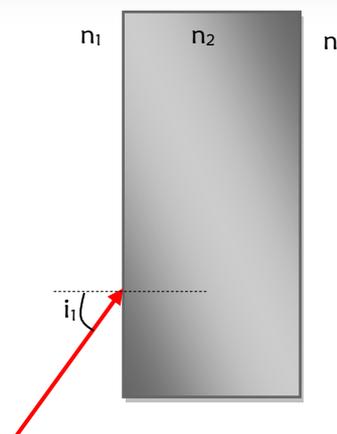


2. Lame à faces parallèles

C'est un milieu d'indice n_1 limité par deux plans parallèles.

La direction du rayon émergent est indépendante de l'indice de la lame : le rayon incident et le rayon émergent sont parallèles si les deux milieux extrêmes sont identiques.

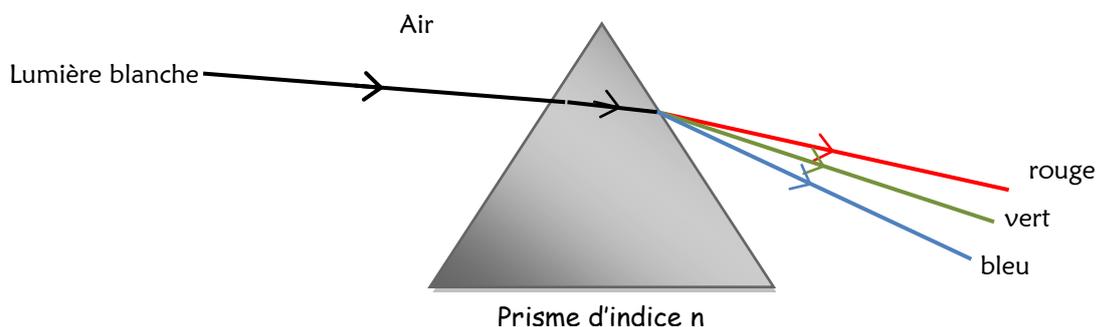
Par contre, le rayon émergent est décalé par rapport au rayon incident.



3. Le prisme

DEFINITION

- Newton a utilisé un prisme pour démontrer que la lumière blanche est constituée d'un ensemble de radiations. En effet, la lumière est déviée lorsqu'elle traverse le prisme ; et de plus, elle possède toutes les couleurs de l'arc en ciel en sortie du prisme.
- Le prisme permet de séparer les différentes couleurs qui composent la lumière blanche. On dit que le **prisme disperse la lumière**.



ÉTUDE DE LA DISPERSION

• La lumière se propage initialement dans l'air (indice $n = 1$) ; elle arrive à la surface du prisme (indice n) au point I ; elle subit une première réfraction lorsqu'elle pénètre dans le prisme. A l'intérieur du prisme, elle se propage en ligne droite ; elle arrive à la deuxième surface du prisme au point J. Elle subit une deuxième réfraction lorsqu'elle passe du prisme dans l'air.

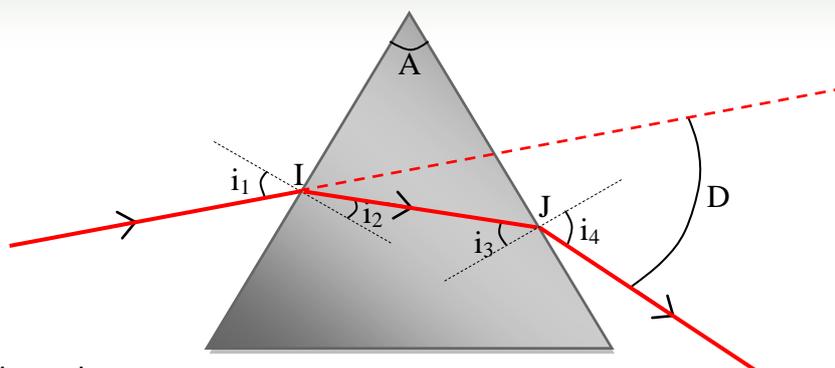
• Notations utilisées :

A : angle du sommet du prisme

i_1 : angle d'incidence
 i_2 : angle de réfraction } pour la première réfraction : passage de l'air dans le prisme

i_3 : angle d'incidence
 i_4 : angle de réfraction } pour la deuxième réfraction : passage du prisme dans l'air

D : angle de déviation entre le rayon incident et le rayon sortant



- Relations entre les angles :

- Minimum de déviation

Si on mesure l'angle de déviation pour différents angles d'incidence, on remarque qu'il y a une valeur pour laquelle l'angle de déviation est minimal ; on note cette valeur D_m .

Au minimum de déviation, on peut montrer que :

$$i_1 = i_4 = (A + D_m) / 2$$

$$i_2 = i_3 = A/2$$

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A + D_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

On peut utiliser cette propriété pour calculer l'indice de réfraction n du prisme

4. Les fibres optiques

HISTORIQUE

1960 L'apparition du laser donne l'idée d'utiliser la lumière comme support de transmission d'informations.

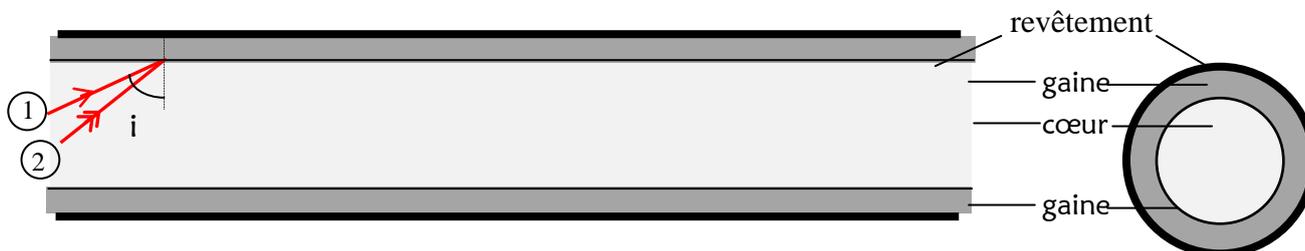
1970 On découvre des matériaux semi-conducteurs permettant de fabriquer des sources lumineuses émettant dans l'infrarouge, région du spectre où les fibres optiques sont les plus performantes.

Depuis, on cherche à améliorer et inventer des matériaux permettant de transporter la lumière sur de plus grandes distances en limitant les pertes.

LES DIFFERENTS TYPES DE FIBRES

Les fibres optiques sont des guides d'onde dans lesquels la lumière reste confinée. La propagation s'effectue par **réflexions totales successives** sur la paroi du guide.

• fibres à saut d'indice



L'ensemble cœur-gaine est protégé par un revêtement plastique.

Le cœur est un matériau très transparent d'indice n_c . La gaine est aussi constituée d'un matériau transparent d'indice n_g tel que $n_c > n_g$.

Une partie de la lumière pénètre dans la fibre selon l'axe du cœur, mais le reste entre obliquement et atteint l'interface cœur-gaine.

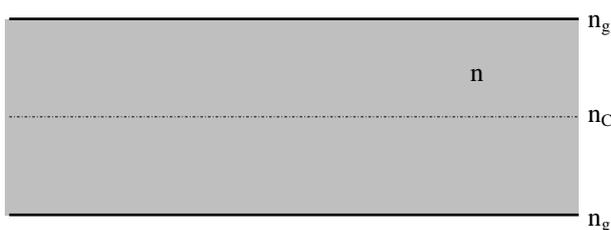
A l'interface cœur-gaine, les rayons tels que (1) ont une incidence $i > i_l$ tel que $\sin i_l = n_g / n_c$ et subissent une réflexion totale ; les rayons tels que (2) ont une incidence $i < i_l$, ils sont réfractés et absorbés par le revêtement plastique (ces rayons sont « perdus »).

• fibres à gradient d'indice

La séparation cœur-gaine n'existe plus : l'indice du cœur varie de façon continue de n_c sur l'axe du cœur à n_g à la périphérie de la gaine.

La propagation n'est plus rectiligne.

Les fibres à gradient d'indice permettent de transporter plusieurs ondes simultanément.



$$n_g < n < n_c$$

n diminue de l'axe vers la périphérie

UNE ATTENUATION INEVITABLE

A l'intérieur de la fibre, deux phénomènes entravent et atténuent la propagation de la lumière :

- l'absorption de l'énergie : par les électrons pour les courtes longueurs d'ondes, par les vibrations des atomes constituant la fibre pour les grandes longueurs d'onde.
- la diffusion de l'énergie liée au manque d'homogénéité de la fibre (anomalies de composition) ; ce phénomène concerne les grandes longueurs d'ondes.

RECHERCHE DE NOUVEAUX MATERIAUX

Aujourd'hui, l'objectif est d'utiliser des matériaux permettant la transmission des rayonnements infrarouge ($\lambda > 2.10^{-6}$ m)

On étudie actuellement : des substances à base d'halogénures de thallium ou d'argent (sur de grandes distances de propagation, leur absorption est encore importante ; par contre on les utilise sur de courtes distances en chirurgie), les verres (trisulfure d'arsenic ArS_3 , trisélenure d'arsenic $ArSe_3$, verres fluorés)

UTILISATION

Dans le domaine infrarouge : télécommunication, audiovisuel (câble), médecine.

5. Les mirages

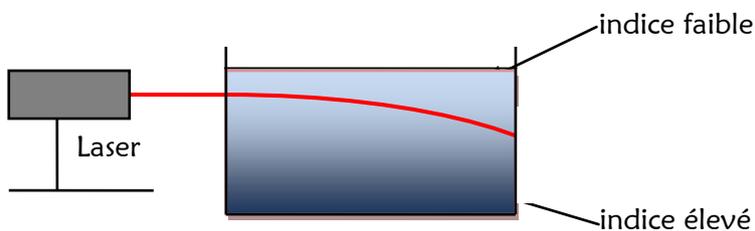
(D'APRES UN DOCUMENT INTERNET DE « LA MAIN A LA PATE »)

PRINCIPE DES MIRAGES

Un milieu optique est caractérisé par un indice, dit indice de réfraction qui "mesure" la vitesse de la lumière dans ce milieu. Plus cet indice est élevé, plus la lumière se propage lentement dans ce milieu. L'indice de réfraction de l'air dépend de sa densité et donc de sa température. Plus la densité ou la température est élevée et plus l'indice est faible.

La loi fondamentale de l'optique géométrique, le principe de propagation rectiligne de la lumière, n'est valable que dans un milieu homogène dans lequel l'indice de réfraction est le même partout. Plus généralement, le chemin emprunté par la lumière est celui pour lequel le temps de parcours est extremum (minimum ou maximum) : c'est le principe de Fermat dont découlent les lois de Descartes sur la réfraction et la réflexion.

Lorsqu'on plonge un bâton dans l'eau, on observe que les rayons lumineux qui proviennent du bâton sont déviés lorsqu'ils passent de l'eau à l'air, car l'indice de l'air diffère de celui de l'eau : le bâton apparaît alors "brisé". Si l'indice de réfraction du milieu varie régulièrement d'un point à un autre, les rayons lumineux ne suivent plus une trajectoire rectiligne mais une courbe. Dans l'expérience ci-dessous, un laser émet un rayon lumineux qui traverse une cuve où l'indice diminue de bas en haut. On observe alors la déviation du rayon lumineux, vers les indices élevés.

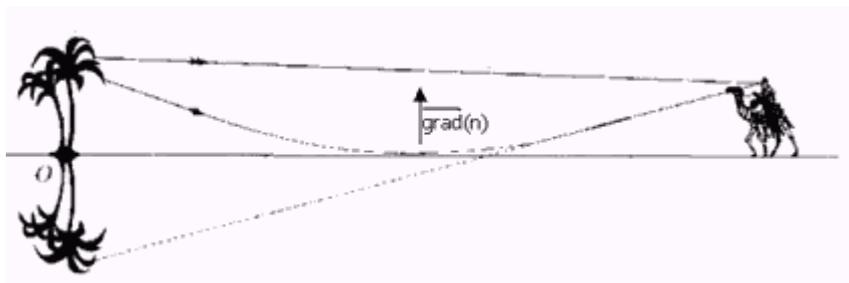


Les variations locales ou globales de température et de pression dans l'atmosphère engendrent de la même manière les phénomènes optiques si particuliers que sont les mirages.

MIRAGES INFÉRIEURS ET SUPÉRIEURS

Au niveau du sol, il peut exister localement des variations d'indice de faible étendue verticale, de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Ils ont pour origine soit une inversion de température en altitude, soit un réchauffement ou un refroidissement de l'air au niveau du sol. On voit donc que deux cas principaux peuvent se présenter.

Un sol ou une nappe d'eau chauds créent un gradient de température dirigé vers le bas, c'est-à-dire un gradient d'indice dirigé vers le haut. Dans un tel cas, les rayons provenant d'un objet s'incurvent vers le haut, et atteignent l'observateur en semblant provenir du sol ; on peut alors voir une image inversée de l'objet. On parle dans ce cas de mirages inférieurs. Ce sont ces mirages qui donnent l'impression d'observer des flaques d'eau sur une route chauffée par le soleil en été : on observe en fait les rayons provenant du ciel, dont notre œil a l'impression qu'ils viennent de la route.



Inversement, un sol froid (mer froide, banquise par exemple) crée un gradient d'indice dirigé vers le bas : dans ce cas les rayons lumineux sont courbés vers le bas, et on parle alors de mirages supérieurs.

