

I. Introduction

1620 : Snell

1637 : Descartes

Optique géométrique : la lumière se propage en ligne droite dans un milieu transparent homogène et isotrope (valable dans les situations où toutes les dimensions des objets considérés sont plus grandes que quelques dizaines de micromètres)

Indice absolu : $n = \frac{c}{v}$ avec c : célérité de la lumière dans le vide ; v : célérité de la lumière dans le milieu étudié

Ex : $n_{\text{air}} = 1,000293 \approx 1$

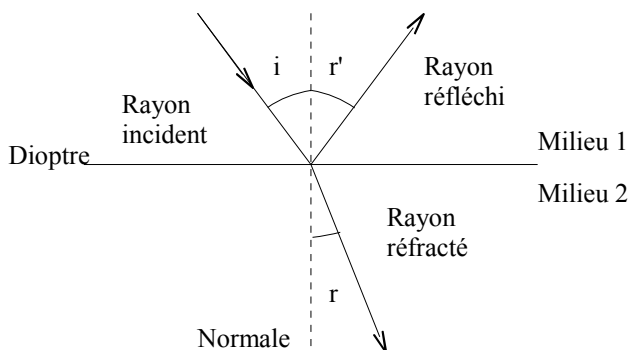
$n_{\text{verre}} = 1,5$

Dioptre : surface séparant deux milieux d'indices différents

II. Lois de Snell-Descartes

1. Le plan d'incidence

- Matériel : Une cuve remplie d'eau teintée avec de la fluorescéine ; un faisceau laser ; un support avec plusieurs fils plombés. (Voir [une photo](#))
- Protocole : Dans une cuve remplie d'eau, on dirige le faisceau laser à la surface de l'eau, qui constitue un **dioptre air-eau**.
- Observations : Au contact du dioptre, le faisceau lumineux incident se sépare en 2 faisceaux :
 - Un rayon symétrique au rayon incident par rapport à la normale au dioptre : c'est le rayon **réfléchi**.
 - Un rayon qui se propage dans l'eau avec une direction différente de celle du rayon incident : c'est le rayon **réfracté**.
- On remarque également que, dans un milieu donné, la lumière se propage **en ligne droite**. En effet, le milieu considéré est **homogène** (même composition en tout points) et **isotrope** (propagation identique dans toutes les directions).
- Voir [une photo](#)
- Application : A l'aide des fils plombés, on met en évidence la **1^{ère} loi de Descartes** : **les rayons incident, réfléchi et réfracté appartiennent au même plan : plan d'incidence**.

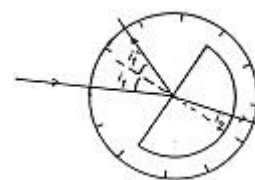


2. Étude de la réfraction

- a) Premier cas : $n_1 < n_2$ (la lumière va d'un milieu moins réfringent vers un milieu plus réfringent)

- Matériel : Un faisceau laser monochromatique, un hémicylindrique en plexiglas posé sur un disque gradué
- Protocole : Un laser émet un pinceau fin et monochromatique sur un demi-disque en plexiglas :

On dirige le rayon incident sur la face plate de l'hémicylindrique. On tourne le demi-cylindre de 10° en 10° et on note les angles incidents i et réfractés r que l'on reporte dans le tableau suivant (Voir [une photo](#)) :



$i \pm 0,5^\circ$	0	10	20	30	40	50	80
$r \pm 0,5^\circ$	0	7	13	20	25	30	41
$\sin i \pm 0,1$	0	0,17	0,34	0,5	0,64	0,76	0,98
$\sin r \pm 0,1$	0	0,12	0,23	0,34	0,42	0,50	0,65
$\sin i / \sin r \pm 0,2$		1,41	1,48	1,47	1,52	1,52	1,50

On trace la courbe $\sin r = f(\sin i)$

- Observations :

- ♦ $r < i$; ainsi, quand la lumière passe dans un milieu plus réfringent, le rayon réfracté « s'approche » de la normale.
- ♦ On obtient une droite donc le rapport $\sin i / \sin r$ est constant pour tout i .

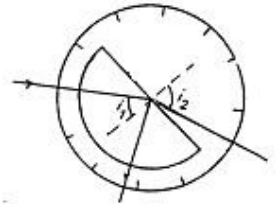
Ceci vérifie la **2^{ème} loi de Descartes** : pour 2 milieux d'indice n_1 et n_2 , l'angle d'incidence i et l'angle de réfraction r sont lié par la relation : $n_1 \sin i = n_2 \sin r$

- Application : On peut en déduire l'indice du plexiglas, sachant que $n_{\text{air}} = 1$

La pente de la droite correspond à la valeur recherchée : $n_{\text{plexiglas}} = 1,5$

- b) Deuxième cas : $n_1 > n_2$ (la lumière va d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent)

- Protocole : on tourne le demi-cylindre et on fait pénétrer le faisceau dans le plexiglas par la partie cylindrique :



- Observations et interprétations :

- ♦ $r > i$; ainsi, quand la lumière passe dans un milieu moins réfringent, le rayon réfracté « s'éloigne » de la normale.
- ♦ Pour $r = 90^\circ$, c'est à dire à émergence rasante, on mesure $i_{\text{lim}} = 42^\circ$.

Rq : En utilisant la deuxième loi de Descartes, on trouve : $i_{\text{lim}} = \arcsin(n_2 / n_1) \Rightarrow i_{\text{lim}} = 41,8^\circ$

- ♦ Si $i > i_{\text{lim}}$, on observe un phénomène de **réflexion totale**. Donc, a un rayon incident ne correspond pas toujours un rayon réfracté.
- ♦ Dans le cas $n_1 < n_2$, on avait trouvé : $i = 70^\circ$ et $r = 38^\circ$.

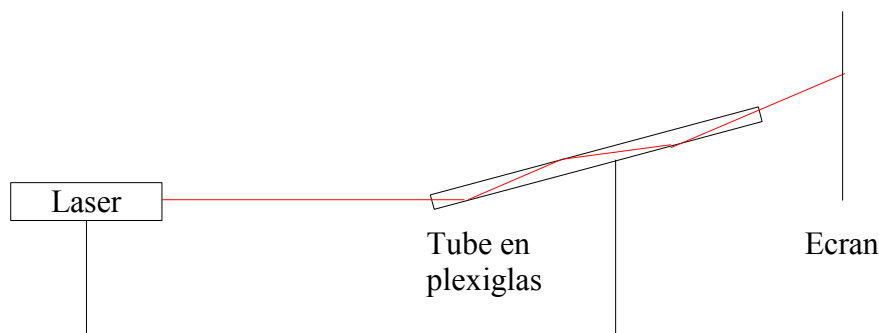
Dans le cas $n_1 > n_2$, on mesure : $i = 38^\circ$ et $r = 70^\circ$. Ainsi, on constate que le rayon incident initial devient le rayon réfracté. Ce résultat montre le **principe du retour inverse de la lumière**.

III.Applications

1. Propagation guidée de la lumière

- a) Dans le plexiglas

- Matériel : Générateur, Laser, tube rectiligne en plexiglas, écran.
- Protocole : On fait pénétrer le faisceau laser par une des petites faces d'un tube incliné d'un angle de 15° par rapport à la direction du rayon lumineux.



- Observations et interprétations :

On observe de multiples réflexions totales (voir [photo](#)) car $n_{\text{plexiglas}} > n_{\text{air}}$ et que l'angle d'incidence est supérieur à 42° (ici $90 - 15 = 75^\circ$)

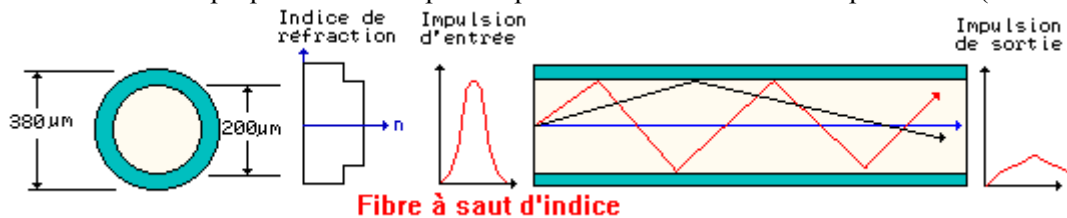
Rq : La même expérience peut être faite avec un tube « tire-bouchon » (voir [photo](#))

- b) Fibre optique à saut d'indice :

- Description : Ce type de fibre est constitué de 2 milieux d'indice différents : le **cœur de la fibre** (en quartz pur pour limiter les phénomènes de diffraction sur les impuretés) et la **gaine de la fibre**. Le diamètre du cœur de la fibre est de l'ordre de quelques millimètres, voire quelques nanomètres.



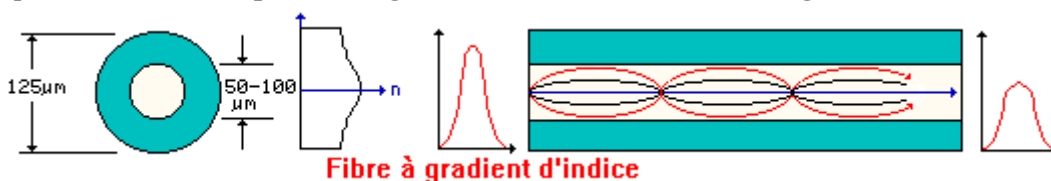
- Matériel : Générateur, Laser, fibre optique, écran.
- Protocole : Placer le laser à l'une des extrémités de la fibre (voir [photo](#)) et montrer que l'on reçoit la lumière laser à l'autre extrémité (voir [photo](#)). La fibre optique a permis la propagation de l'onde lumineuse.
- Interprétation : Le rayon se propage dans le cœur de la fibre en subissant de multiples **réflexions totales**. Ce phénomène est possible car $n_{\text{cœur}} > n_{\text{gaine}}$ et l'angle incident est supérieur à l'angle limite.
- Applications :
 Communication : La fibre optique sert essentiellement à la transmission d'informations. Les différentes informations sont converties en signaux lumineux qui se propagent à la vitesse de la lumière (pratiquement) sans pertes.
 Médecine : La fibre optique est utilisée pour explorer divers endroits du corps humain (fibroscopie).



Tiré de <http://michaud.chez-alice.fr/principe.html>

2. Phénomène de mirage

- Matériel : Générateur, Laser, aquarium, eau, sel.
Rq : il ne faut pas mélanger car le sel permet de constituer un milieu non homogène : la concentration en sel n'est pas la même en tout point du milieu.
- Protocole : Placer le laser de sorte que le faisceau entre au plus bas de la face de l'aquarium (voir [photo](#)) et montrer que le faisceau lumineux ne se propage pas en ligne droite, sa trajectoire se courbe vers le bas. (voir [photo](#)).
- Interprétation : Ici le milieu n'est plus homogène : la concentration en sel est supérieure dans le fond de la cuve qu'en surface. Le gradient de concentration est donc dirigé de haut en bas : c'est la raison pour laquelle le rayon se courbe vers le bas.
- Ajouté durant les questions :
 C'est le principe de la fibre optique à gradient d'indice. Le milieu la constituant n'est pas homogène, le trajet suivi par la lumière **n'est plus rectiligne**, il est **courbé dans le sens du gradient d'indice**.



Tiré de <http://michaud.chez-alice.fr/principe.html>

IV. Conclusion

Utilisation dans les fibres optiques - ADSL

V. Questions

1. Qu'est v dans la formule définissant l'indice de réfraction ?

C'est la vitesse de phase de l'onde lumineuse (voir [Wikipedia](#)).

« La **vitesse de phase** d'une **onde** est la vitesse à laquelle la **phase** de l'onde se propage dans l'espace. C'est la vitesse à laquelle se propage la phase de tous les composants de l'onde. Si l'on sélectionne n'importe quel point particulier de l'onde (par exemple la crête), il donnera l'impression de se déplacer dans l'espace à la vitesse de phase.

La vitesse de phase s'exprime en fonction de la **pulsation** de l'onde ω et du **nombre d'onde** k : $v_\phi = \omega/k$.

La vitesse de phase de l'onde n'est pas forcément égale à sa vitesse de groupe, qui est la vitesse à laquelle les changements d'**amplitude** de l'onde (son enveloppe) se propagent. La vitesse de phase d'une **onde électromagnétique** peut être supérieure à la **vitesse de la lumière** dans le **vide** dans certaines circonstances, mais cela n'implique pas un transfert d'énergie ou d'information à une vitesse supérieure à celle de la lumière. »

2. D'où vient la formule $n_1 \sin i = n_2 \sin r$?

- Du principe de Fermat (voir [Wikipedia](#)) qui dit que « la lumière se propage d'un point à un autre sur une trajectoire telle que la durée du parcours soit minimale ». ([Démonstration](#) tirée de ce [document](#)).

- Du principe d'Huyghens (voir [Wikipedia](#)) qui « consiste à considérer chaque point de l'espace indépendamment. Si un point M reçoit une onde d'amplitude $E(M, t)$, alors on peut considérer qu'il réémet lui-même une **onde sphérique** de même fréquence, même amplitude et même phase. En fait, au lieu de considérer que l'onde progresse de manière continue, on décompose sa progression en imaginant qu'elle progresse de proche en proche. (Démonstration tirée de ce [document](#)) (Animation : choisir « Dioptre $i < 0$ » et « Avec sources »)

3. Quels sont les inconvénients de l'expérience de l'hémicylindrique (elle nous a été présentée en lumière blanche) ?
- Incertitude due à un faisceau lumineux épais ;
 - Dispersion de la lumière blanche.
- Il est donc préférable d'utiliser un Laser

4. Applications de la réfraction totale

- Jumelle à deux prismes

Les jumelles à prismes de Porro sont donc les plus adaptées à la pratique de l'astronomie. Ces jumelles se reconnaissent parfaitement par le décalage qu'elles présentent entre les objectifs et les oculaires (figure A). Ce décalage résulte du positionnement des deux prismes à 90° qui composent le système interne de redressement d'image.

Les jumelles à prismes en toit (figure B) présentent un effet stéréoscopique (Définition de Stéréoscopie) moins bon que les modèles à prismes de Porro.

- Fibres optiques et techniques d'endoscopie (voir [ici](#))

5. Fibres optiques (voir <http://michaud.chez-alice.fr/sommaire.html>)

Deux types (saut d'indice ou gradient d'indice)

Atténuation du signal (installation d'un répéteur tous les 50 à 100 km) car pertes (voir <http://michaud.chez-alice.fr/prob.html>)

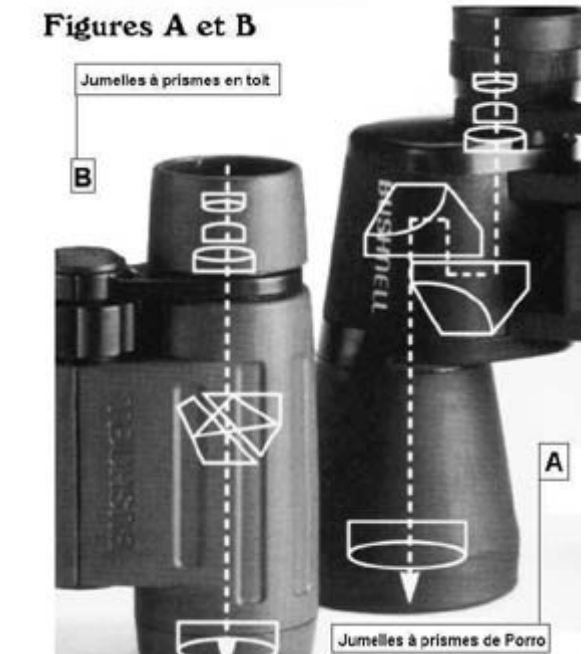
- absorption dues aux impuretés dans la fibre par exemple les liaisons OH

- transition électronique dans l'ultraviolet
- vibration moléculaire

- Diffusion Rayleigh due à l'interaction entre la lumière et la matière. En effet des milieux comme le verre, les liquides et les gaz diffuse la lumière. Cette diffusion est d'autant plus grande que la longueur d'onde est petite (proportionnelle à $1/\lambda^4$, d'où l'utilisation de l'infrarouge (longueur d'onde élevée).

6. Mirage (voir [ici](#))

Le gradient (représenté par un vecteur allant de la valeur la plus faible vers la valeur la plus élevée) de température entraîne un gradient de masse volumique inverse (puisque un gaz chaud est moins dense qu'un gaz froid). Or selon la loi de Gladstone-Dale, l'indice de réfraction " n " d'un gaz varie linéairement en fonction de sa masse volumique $n = n_0 + K \cdot \rho$ (la constante de proportionnalité K dépendant de la composition du gaz). Il y a donc création d'un gradient d'indice dirigé vers le haut. Et puisque le sens de la concavité est celui du gradient d'indice (voir III 2), le faisceau lumineux suit la trajectoire ci-dessus (voir [ici](#)).



Tiré de

<http://www.astrosurf.com/sirius/jumelles.html>

