

Montage n°1

Expériences portant sur la réfraction de la lumière ; applications.

Introduction

Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite. Mais que se passe-t-il lorsqu'il y a un changement de milieu ? (on plonge un bâton dans une cuve remplie d'eau : on a l'impression qu'il se brise). Ce phénomène est appelé réfraction : en changeant de milieu, on observe un changement de la direction de propagation du rayon.

En effet, selon le milieu, la célérité de la lumière n'est pas la même. On caractérise un milieu par son indice, $n=c/v$ avec c : célérité de la lumière dans le vide ; v : célérité de la lumière dans le milieu étudié. Ex : $n_{\text{air}} = 1,000293 \sim 1$ - $n_{\text{verre}} = 1,5$

De nombreux scientifiques se sont intéressés au phénomène : Ptolémée (1^{er} siècle), Grossetête (12^{ème} siècle), Snell et Descartes (17^{ème} siècle)

1 Les lois de Snell-Descartes sur la réfraction

1.1 Plan d'incidence

- *Matériel* : Une cuve remplie d'eau teintée avec de la fluorescéine ; un faisceau laser ; un support avec plusieurs fils plombés.

- *Protocole* : Dans une cuve remplie d'eau, on dirige le faisceau laser à la surface de l'eau, qui constitue un **dioptré air-eau**.

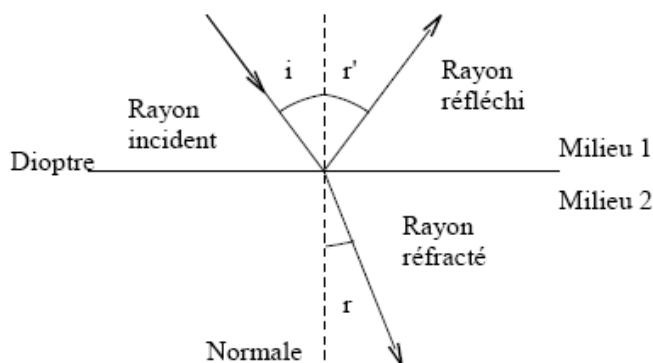
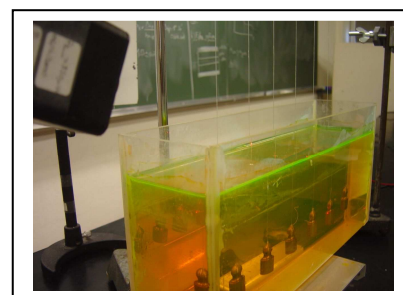
- *Observations* : Au contact du dioptré, le faisceau lumineux incident se sépare en 2 faisceaux :

- Un rayon symétrique au rayon incident par rapport à la normale au dioptré : 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).

- *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.**



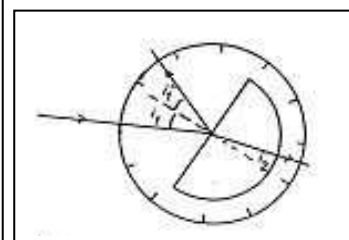
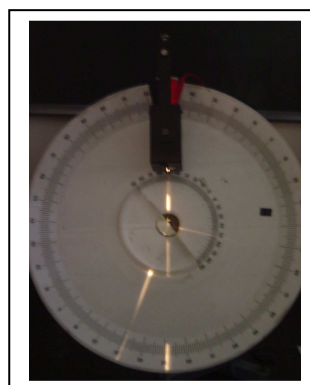
1.2 Etude de la réfraction

1.2.1 cas n°1 : $n_1 < n_2$

(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 :

$i \pm 0,5^\circ$	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 $\sin r = f(\sin i)$

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{\Delta i}{\tan i} + \frac{\Delta r}{\tan r} \quad \Delta i = 1^\circ \text{ ou } 0,5^\circ \text{ (mais attention à les mettre en radian s...)}$$

• *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 **2ème 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 : $n_{\text{plexiglas}} = 1,5$

1.2.2 cas $n_2 > n_1$

(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 $i_{\text{lim}} = 42^\circ$.

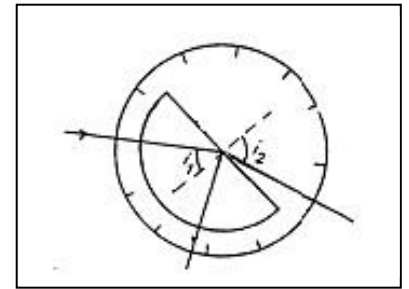
Rq : En utilisant la deuxième loi de Descartes, on trouve : $i_{\text{lim}} = \arcsin(n_1 / n_2)$ $\Rightarrow i_{\text{lim}} = 41,8^\circ$

$$n = 1 / \sin i_{\text{lim}} \quad \frac{\Delta n}{n} = \frac{\Delta i}{\tan i}$$

► 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**.



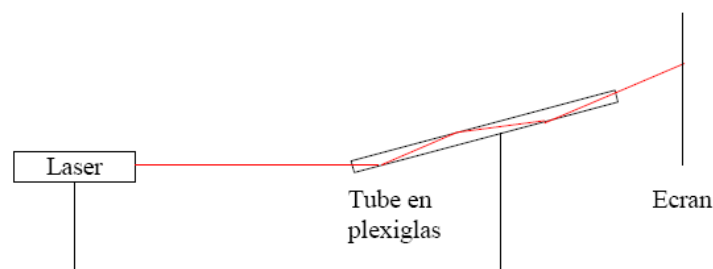
2 Applications

2.1 Propagation guidée de la lumière

2.1.1 dans le plexiglas

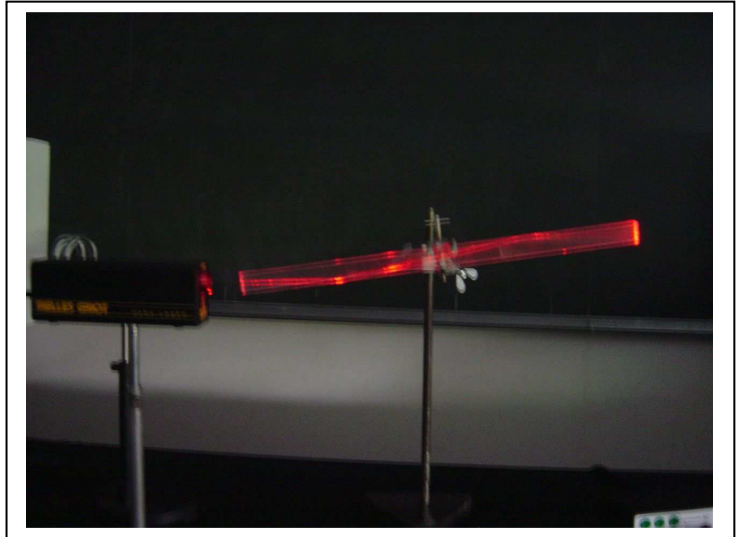
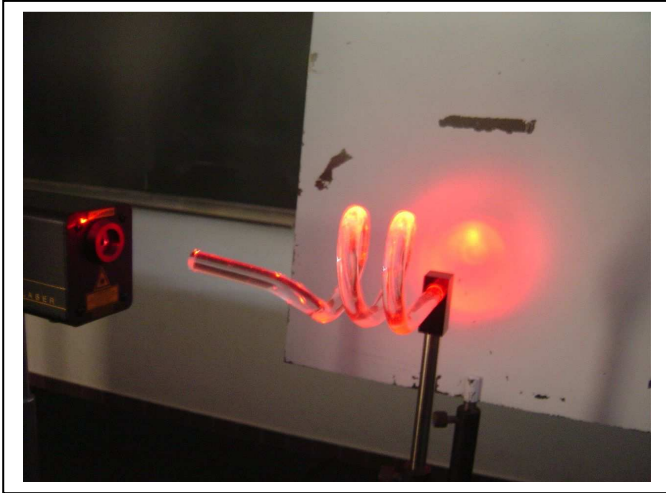
• *Matériel* : Générateur, Laser, tube rectiligne en plexiglas, écran.

• *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* :

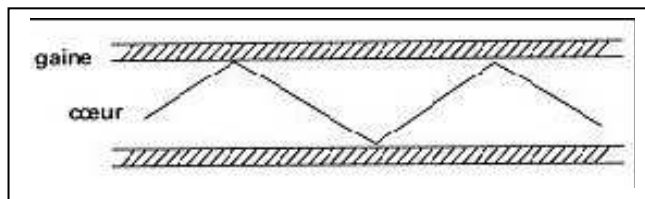
On observe de multiples réflexions totales car $n_{\text{plexiglas}} > n_{\text{air}}$ et que l'angle d'incidence est supérieur à 42° (ici $90 - 15 = 75^\circ$)
Rq : La même expérience peut être faite avec un tube « tire-bouchon »



fibre optique à saut d'indice

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

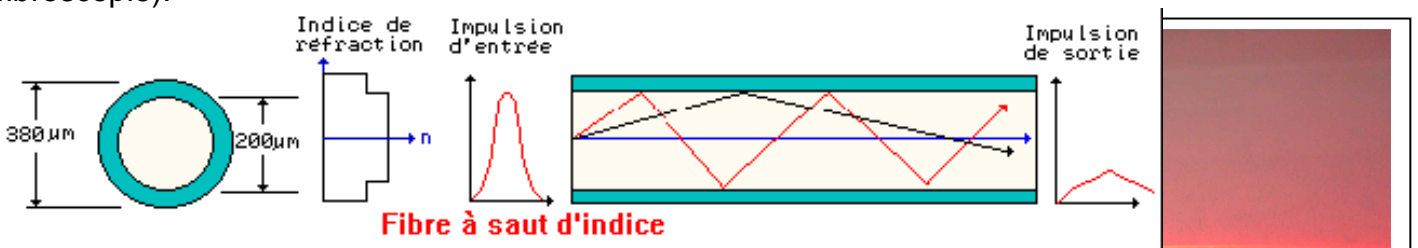
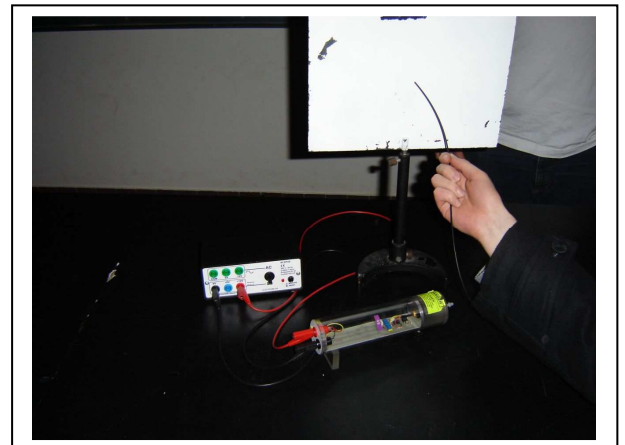
Laser



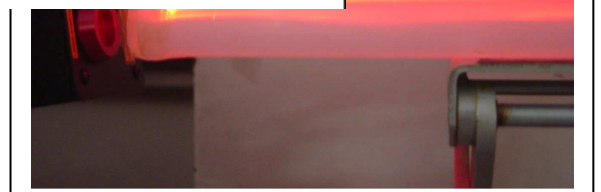
- *Matériel* : Générateur, Laser, fibre optique, écran.
- *Protocole* : Placer le laser à l'une des extrémités de la fibre et montrer que l'on reçoit la lumière laser à l'autre extrémité. La fibre optique a permis la propagation de l'onde lumineuse.
- *Interprétation* : Le rayon se propage dans le coeur de la fibre en subissant de multiples **réflexions totales**. Ce phénomène est possible car $n_{\text{coeur}} > n_{\text{gaine}}$ 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).



2.1.2 fibre optique à gradient d'indice



- **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 et montrer que le faisceau lumineux ne se propage pas en ligne droite, sa trajectoire se courbe vers le bas.

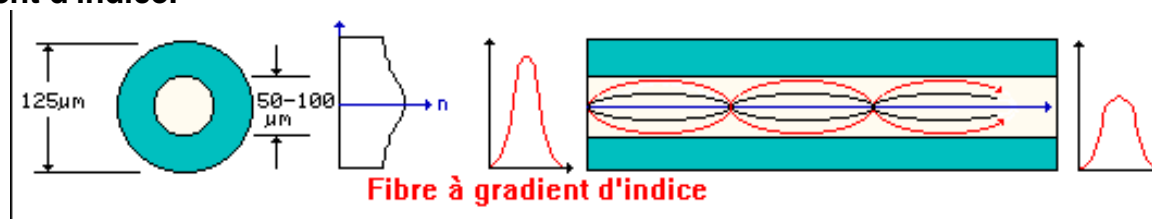
- **Interprétation** : Ici le milieu n'est plus homogène : la concentration en sel est supérieure dans le fond de la

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**.



intérêt : chemin optique + court. (explique aussi le phénomène de mirage)

2.2 Prisme

2.2.1 Renvoi d'angle

Expérience avec le prisme sur l'assiette graduée (Bellier ?)

- Utilisation dans les **réfractomètres** (utilisés en chimie pour mesurer les indices de réfraction des liquides = méthode de caractérisation) : on règle l'orientation du prisme pour avoir une image ½ noire ½ éclairée.
- **Jumelles** : même principe que la lunette astronomique, mais on a besoin de redresser l'image (au moyen de 2 prismes rectangles).

2.2.2 Phénomène de dispersion

Nous allons reproduire l'expérience historique réalisée par Newton.

Matériel : lampe, fente, lentille, prisme (ou PVD), écran

Observation : décomposition de la lumière. Le bleu est + dévié que le rouge. D'où l'angle de diffraction dépend de la longueur d'onde

La vitesse de la lumière dans un milieu, dépend de la longueur d'onde (dispersif). Formule de Cauchy nous dit que $n_{\text{bleu}} > n_{\text{rouge}}$

$$\sin i = n \cdot \sin r \quad \text{si } n \nearrow, \sin r \searrow, \text{ donc } r \searrow$$

Dans un prisme, $A = r + r'$, donc si $r \searrow$, alors $r' \nearrow$

$$n \cdot \sin r' = \sin i' \quad \text{d'où } \sin i' \nearrow, \text{ d'où } i' \nearrow \quad \text{or } D = I + I' - A$$

$$D_{\text{bleu}} > D_{\text{rouge}}$$

Conclusion

De nombreuses autres applications de la diffraction : dans les lentilles, les lames, donc dans tous les instruments d'optique.

Explique également de nombreux phénomènes naturels (arc-en-ciel, mirages...)

BIBLIO

- Bellier Dunod / Duffait / Prog de 2nde

Questions

On appelle **réfraction** le changement de direction que subit un rayon lumineux en passant d'un milieu optique donné à un autre. Ce changement est dû à une modification de la vitesse de propagation à partir du point, appelé point d'incidence, où le rayon lumineux incident frappe l'interface. Par analogie, on peut apparenter le phénomène de réfraction à la chute d'un nageur dans de l'eau suite à un plongeon. En effet, lors de sa rencontre avec le plan d'eau, sa vitesse diminue brusquement.

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 : $v_f = \omega/k$.

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 « Dioptré $i < 0$ » 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.

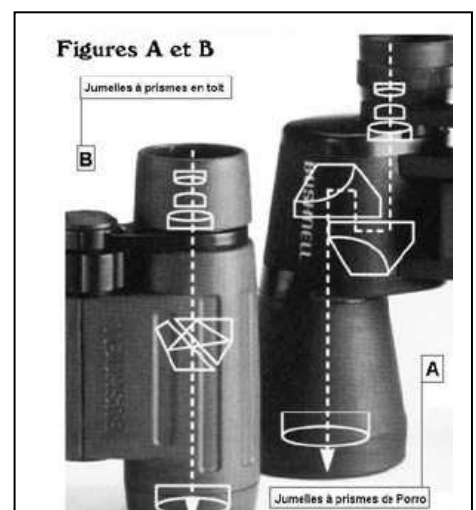
Il est donc préférable d'utiliser un Laser

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](#))



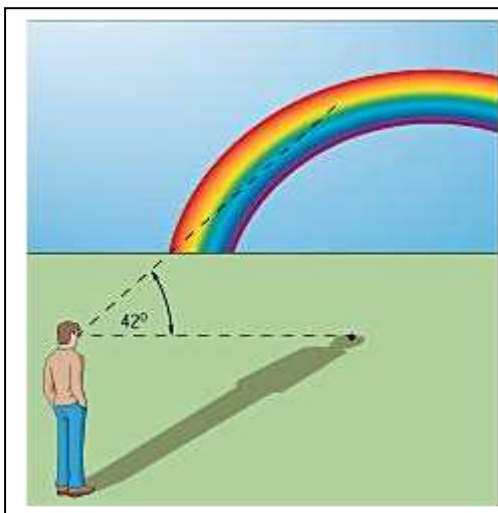
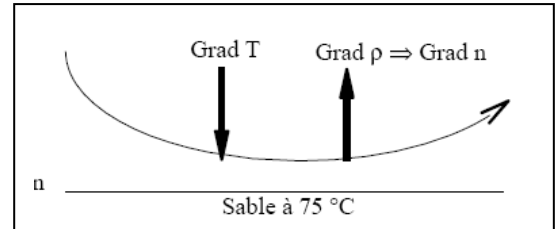
5. Fibres optiques

Deux types (saut d'indice ou gradient d'indice) Atténuation du signal (installation d'un répéteur tous mes 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).



L'arc-en-ciel est provoqué par la dispersion de la lumière du soleil par des gouttes de pluie approximativement sphériques. La lumière est d'abord réfractée en pénétrant la surface de la goutte, subit ensuite une réflexion partielle à l'arrière de cette goutte et est réfractée à nouveau en sortant. L'effet global est que la lumière entrante est principalement réfléchi vers l'arrière sous un angle d'environ 40-42°, indépendamment de la taille de la goutte. La valeur précise de l'angle de réflexion dépend de la longueur d'onde (la couleur) des composantes de la lumière. La lumière bleue qui est réfractée a un plus grand angle que la lumière rouge, mais en raison de la réflexion totale, la lumière rouge apparaît plus haut dans le ciel et forme la couleur externe de l'arc-en-ciel.

Un arc-en-ciel n'a donc pas réellement d'existence physique mais est une illusion optique dont la position apparente dépend de la position de l'observateur. Toutes les gouttes de pluie

réfractent et reflètent la lumière du soleil de la même manière, mais seulement la lumière d'une petite partie des gouttes de pluie atteint l'œil de l'observateur. C'est l'image formée par la lumière de ces gouttes de pluie que nous voyons sous forme d'arc-en-ciel.

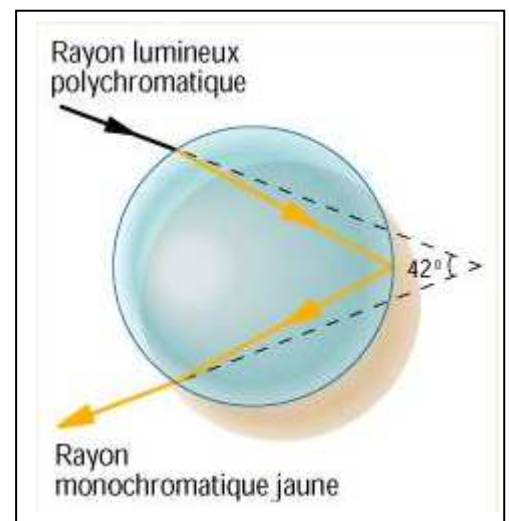
Un arc-en-ciel se situe toujours à l'opposé du soleil : le soleil, l'observateur et le centre du cercle dont fait partie l'arc-en-ciel sont sur la même ligne.

Un arc-en-ciel appartient toujours à un cercle de même diamètre : un cercle apparaissant sous un angle approximatif de 40-42° autour de cette ligne soleil-observateur-centre de l'arc.

Mais compte-tenu du fait que l'horizon cache habituellement une grande partie d'un arc-en-ciel, c'est la taille de l'arc visible qui varie : plus le soleil est proche de l'horizon, plus l'arc sera grand. Un observateur en haute altitude verra un plus grand arc-en-ciel qu'un observateur au niveau de la mer (surtout parce qu'il verra une plus grande partie du ciel, et pratiquement pas à cause du changement d'alignement avec le soleil qui est minime).

D'un avion on peut voir le cercle entier de l'arc-en-ciel avec l'ombre de l'avion (donnant la direction opposée au Soleil) en son centre.

L'arc-en-ciel est le produit de la réfraction de la lumière du Soleil par un écran de gouttelettes d'eau. Chaque goutte d'eau agit



comme un prisme qui décompose la lumière. Un rayon solaire – lumière «blanche», c'est-à-dire couvrant tout le spectre visible – tombe sur une goutte; ce rayon subit deux réfractions et une réflexion avant de ressortir, dans une direction qui dépend de la longueur d'onde. Ainsi, les rayons «rouges» seront plus déviés que les rayons «bleus». L'angle entre rayon incident et rayon émergent est de 43° pour les rayons «rouges» et de 41° pour les rayons «bleus». En tournant le dos au Soleil, l'observateur verra un arc rouge issu de toutes les gouttes telles que la direction goutte-œil forme un angle de 43° avec la direction des rayons solaires. On observe alors de l'extérieur à l'intérieur de l'arc-enciel un dégradé allant du rouge au bleu.

2.2.3 Historique

Tandis que se développe l'usage des lunettes astronomiques, les microscopes simples apparaissent. La richesse du champ d'investigations ouvert par ces instruments passionne. Se considérant comme un disciple de Kepler, Descartes écrit, en 1637, que «la lumière est une tendance ou aptitude au mouvement, une pression qui s'exerce instantanément sur les particules ou globules du milieu subtil qui emplit les pores des corps». Cette action qu'est la lumière doit obéir aux lois mécaniques du mouvement. Le modèle mécanique proposé par Descartes lui permet d'expliquer la réflexion et de postuler que, lors de la réfraction, l'agitation de la matière subtile est moins freinée dans l'eau que dans l'air, milieu plus mou, or cette agitation caractérise la lumière. Par ce raisonnement, Descartes retrouve la loi de la réfraction découverte par son ami Willebrord Snell van Royen: $\sin i / \sin r = \text{Cte}$ (i étant l'angle d'incidence, et r l'angle de réfraction).

La constante, qui est nommée aujourd'hui indice de réfraction, est caractéristique des deux milieux en présence et ne peut être déterminée que par l'expérience. En tenant compte des assertions de Descartes, ce rapport conduit à considérer que la réfraction est en raison inverse des vitesses d'agitation des milieux.

Pourtant, une contradiction est immédiatement relevée par les savants contemporains de Descartes: la lumière s'exerçant instantanément, elle est analogue à une pression, d'une part, et un rayon lumineux est moins rapide dans l'air que dans tout autre milieu diaphane, d'autre part. Cependant, auprès d'un public cultivé, la théorie cartésienne a un certain succès. Habile géomètre, Pierre de Fermat discute les propositions de Descartes. Selon lui, la lumière doit parcourir le chemin le plus court en un minimum de temps et doit être freinée par un milieu dense. Ses calculs aboutissent à la même loi des sinus, mais cette fois la réfraction est dans le rapport des vitesses. Le phénomène est sauvé mais son interprétation reste à faire.

Newton reprit le problème à la base: il voulut d'abord comprendre la nature des couleurs. Après avoir posé quelques postulats initiaux, il réalisa de nombreuses expériences, au terme desquelles il put affirmer que les rayons «colorifiques» étaient contenus dans la lumière blanche provenant du Soleil ou des corps lumineux. Il se servit de prismes qui, en quelque sorte, avaient joué le rôle de sélecteurs de couleurs: à la sortie d'un prisme, les rayons colorés sont réfractés de façon différente, mais toujours dans le même ordre, et à chaque couleur correspond un indice de réfraction spécifique (ainsi, le bleu est plus réfrangible que le rouge). Chaque couleur simple, ou plutôt chaque lumière monochromatique, peut ensuite être réfractée par un second prisme sans subir d'altération. Pour vérifier cette interprétation d'une lumière blanche composée de couleurs, Newton proposa de reconstituer celle-ci à partir du spectre d'un premier prisme: une lentille convergente permet de reproduire la lumière initiale. Après la dispersion, Newton étudia les couleurs données par les lames minces, puis aborda l'étude de la diffraction, qu'il nomma «inflexion». En 1704, ses adversaires disparus, Newton peut enfin publier son *Traité d'optique*, dont les fondements avaient été établis de 1666 à 1668.

la réfraction

On donne le nom de «réfraction» au changement de direction subi par un rayon de lumière lorsqu'il atteint la surface de séparation de deux milieux transparents.

Selon les lois de Snell-Descartes, les rayons incident et réfracté se trouvent dans un même plan et le rapport du sinus de l'angle d'incidence i au sinus de l'angle de réfraction r est égal au rapport de l'indice de réfraction du second milieu par rapport au premier, ce qui s'exprime aussi sous la forme: $n_1 \sin i = n_2 \sin r$.

En cas de biréfringence (milieu anisotrope), seul le rayon ordinaire obéit à la loi de Snell. Il peut arriver que la frontière entre les milieux ne soit pas nette ou qu'on ait affaire à un seul milieu dans lequel l'indice de réfraction varie continûment entre un point et un autre (par exemple, l'atmosphère terrestre, dont la pression varie avec l'altitude). Le rayon suit alors une trajectoire courbe qu'on peut calculer avec la loi de Snell en considérant le milieu comme une succession de tranches infiniment fines.

Donnons quelques exemples numériques: lorsque le premier milieu est l'air, l'eau a pour indice 1,33, le verre ordinaire 1,5, le diamant 2,4 et le sulfure de carbone 1,6. Il convient de signaler que l'indice de réfraction varie avec la longueur d'onde des radiations lumineuses employées. Indiquons enfin que l'indice d'un milieu quelconque par rapport à l'air a une valeur très proche de celle de l'indice absolu, du fait de la très faible différence entre les vitesses de la lumière dans l'air et dans le vide. La plupart des indices de réfraction absolus sont compris entre 1 et 1,8.

La réfraction limite La réfraction limite est observée lorsque la lumière se propage à travers deux milieux d'indice différents, sous une incidence rasante.

Envisageons le cas d'un rayon passant d'un milieu d'indice n_2 dans un milieu d'indice n_1 moins réfringent (par exemple, de l'eau dans l'air). La troisième loi de Descartes nous permet d'écrire: $r_1 > i_1$. Pour que l'angle de réfraction r_1 atteigne la valeur 90° (rayon rasant), il faut donner à l'angle d'incidence i_1 la valeur limite L , que l'on peut déterminer par la formule $\sin L = n_1/n_2$. Si l'on donne à l'angle d'incidence une valeur supérieure à L , on constate qu'il n'y a plus de rayon réfracté; la totalité du rayon lumineux se réfléchit sur la surface de séparation des deux milieux: c'est le phénomène dit de réflexion totale.

2.2.3.1 Les fibres optiques

Les fibres optiques fonctionnent sur ce principe. Il s'agit de fibres de verre, de très faible diamètre (de l'ordre de $5 \mu\text{m}$), susceptibles de conduire la lumière, à condition toutefois que l'angle d'incidence des rayons sur les parois internes ne soit jamais inférieur à l'angle limite de réfraction pour le matériau choisi. On utilise généralement des faisceaux de fibres optiques, assemblages de milliers d'unités, chacune d'elles étant traitée afin d'éviter le passage de la lumière de l'une dans l'autre. Initialement gainées, les fibres sont aujourd'hui en verre d'indice variable de l'extérieur vers l'intérieur (l'indice de la zone périphérique étant supérieur à celui de la région centrale). Les faisceaux, souples ou rigides, jouent le rôle de conducteurs de lumière: ils peuvent servir à éclairer des endroits difficilement accessibles ou impropres à l'installation d'une source lumineuse (tableau de bord d'avion, par exemple). Ils sont surtout employés pour les communications optiques à longue distance, pour la transmission, le codage et le décodage (affichage lumineux; systèmes d'endoscopie pour photographier de l'intérieur les cavités pulmonaires ou cardiaques, l'œsophage, les vaisseaux sanguins, avant de décider, par exemple, d'une opération chirurgicale).

La fibre optique La réflexion totale est aussi appliquée dans les fibres optiques. Considérons un cylindre de verre à base de silice protégé de l'extérieur: la lumière va cheminer à l'intérieur en subissant une série de réflexions totales. En effet, la valeur de l'angle d'incidence sur la surface intérieure de la fibre est toujours supérieure à celle de l'angle limite de réfraction, et cela quelle que soit la déformation subie par la fibre. Le cylindre de matière transparente se comporte comme un conducteur de lumière. La lumière provenant des parties d'un objet étendu se partage entre les fibres d'un paquet; à la sortie, la somme des portions d'image obtenues reconstitue l'image entière. On peut munir le faisceau de fibres d'un objectif à l'entrée et d'un oculaire à la sortie.

Des fibres emmêlées déforment l'image, mais sa restitution est obtenue après remise en ordre des fibres à l'arrivée: on peut ainsi coder des messages. L'utilisation la plus répandue des fibres optiques est médicale – en endoscopie (observation des cavités du corps humain) –, mais son exploitation dans les télécommunications est actuellement en pleine expansion.

dioptrés et prismes

Le dioptré est un système optique constitué de deux milieux transparents d'indices différents et séparés par une surface plane ou sphérique. L'association de deux dioptrés plans forme une lame à faces parallèles ou un prisme; les associations de dioptrés sphériques constituent les lentilles.

La lame à faces parallèles En traversant la lame, les rayons subissent une translation linéaire: c'est le cas pour une vitre ordinaire lorsque la lame est placée dans un milieu d'indice n . Dans le cas où les milieux extérieurs sont d'indices différents (paroi d'un aquarium, par exemple), il faut tenir compte de la réfraction limite. Dans tous les cas, une lame à faces parallèles placée sur le trajet lumineux modifie le chemin optique; elle introduit un retard de transmission de l'information par allongement du chemin optique si l'indice de la lame est supérieur à celui du milieu extérieur. Cette propriété est utilisée dans certains systèmes interférentiels. Enfin, dans les conditions permettant les approximations de Gauss, le stigmatisme est tout à fait correct.

Le prisme Les deux dioptrés plans forment un angle A . Les rayons, sous une incidence convenable, émergent en étant déviés vers la base du prisme. Cette déviation est mise à profit pour déterminer de façon extrêmement précise les indices de réfraction à l'aide d'un goniomètre (pour une radiation monochromatique donnée, la précision peut atteindre cinq chiffres significatifs). La méthode utilise un prisme au minimum de déviation.

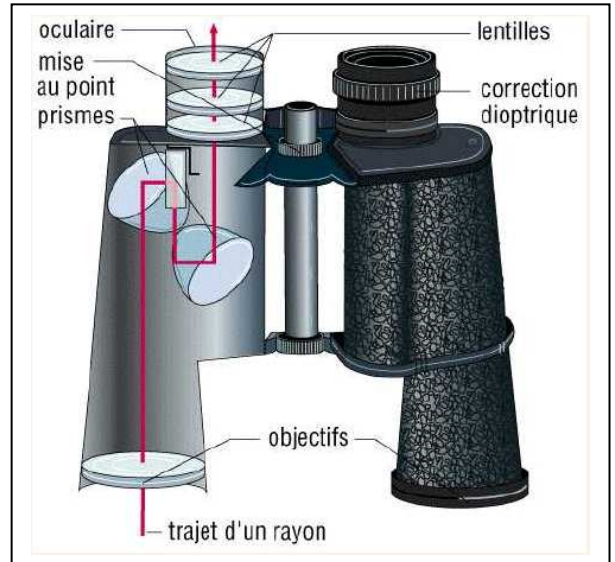
Les prismes sont classés en **prismes dispersifs**, auxquels l'exemple précédent se rapporte, et en **prismes à réflexion**. Ces derniers sont divers, et leurs usages multiples. Ils font subir aux rayons de une à quatre réflexions totales pour imposer une déviation constante ou pour modifier l'orientation des images sans déviation. Les prismes déviateurs à 90° sont utilisés dans les périscopes; les prismes quadrilatères, dans les télémètres; un système de prismes dit de Porro, placé dans les jumelles, permet d'observer un champ élargi grâce à un instrument de petites dimensions; il existe aussi des prismes rétro-rélecteurs. Souvent, une face du prisme est métallisée pour servir de miroir plan.

Le dioptré sphérique Non stigmatique, il donne cependant des images planes tout à fait correctes de petits objets plans, dans les conditions d'approximation de Gauss. En somme, les rayons doivent passer près du centre optique et être peu inclinés sur l'axe (rayons paraxiaux). Un dioptré sphérique est défini par sa convergence C et par quelques points remarquables sur l'axe optique, dont les foyers principaux, objet et image.

Pour des points (B, B') écartés de l'axe, on définit le grandissement linéaire par: $g = y'/y$, ce qui conduit à la formule de Newton: $FA \cdot F'A' = ff'$.

L'association de dioptrés Un instrument d'optique réfracteur est constitué au moins de deux dioptrés, les deux surfaces de séparation d'une lentille par exemple. Nous ne considérerons que des systèmes centrés assimilables à des lentilles minces utilisées dans les conditions d'approximation de Gauss. Dans ce cas, la convergence du système est l'addition des convergences de ces dioptrés successifs.

Une lentille épaisse est modélisée par une association de dioptrés sphériques constituant deux lentilles minces séparées par une lame à faces parallèles. Les résultats théoriques obtenus sont alors simples, et le calcul matriciel s'applique. C'est ainsi que l'on calcule les instruments d'optique. L'usage d'un diaphragme permet d'obtenir des conditions proches de celles de Gauss.



mirage n. masc. 1. Phénomène optique observable dans des régions à relief plat, soumises à un rayonnement solaire intense, et donnant l'illusion de se trouver en présence d'un plan d'eau. Le phénomène est dû à la modification de l'indice de réfraction de l'air. 2. Fig. Illusion. Les mirages de la fortune.

