

PROPAGATION DE LA LUMIERE

1- Sources de lumière

Dans l'obscurité totale on ne voit rien: tous les objets sont invisibles.

Pour qu'un objet devienne visible, il doit être éclairé par de la lumière provenant d'une source.

Les sources primaires de lumières produisent leurs propres lumières.

- Le soleil (lumière du jour), le feu, les flammes.
- Les lampes, un tube au néon (néon), laser, téléviseur, les étoiles, les éclairs, les lucioles et le vers luisants, etc...

Les objets diffusants sont des objets éclairés qui renvoient dans toutes les directions, une partie de la lumière qu'ils reçoivent. On dit qu'ils diffusent la lumière.

- La lune diffuse une partie de la lumière qu'elle reçoit du soleil.
- Les planètes du système solaire.
- Un écran de cinéma.

2- Caractéristiques de la lumière

2.1- Qu'est-ce que la lumière

La lumière est une forme d'énergie produite par la matière.

Pour comprendre comment elle est générée, il faut examiner les constituants même de la matière, c'est-à-dire les atomes.

La lumière a à la fois le comportement d'un corpuscule (photon) et d'une onde (OEM).

Toutefois la lumière ne peut pas avoir les deux comportements simultanément. C'est la physique quantique qui permet de comprendre ce phénomène. C'est la fameuse dualité Onde-Corpuscule de Louis de Broglie.

2.2- Le rayon lumineux

Un rayon lumineux matérialise le trajet suivi par la lumière pour aller d'un point à un autre. On le représente par un segment de droite, avec une flèche qui indique le sens de propagation.

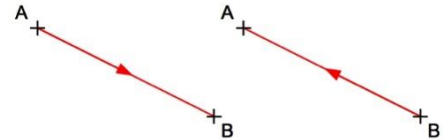
Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite.

On dit qu'un milieu est homogène s'il possède la même composition et les mêmes propriétés en tout point. Le vide, le verre et l'air sont en général des milieux homogènes.

Un milieu est transparent, si la lumière peut s'y propager sans être absorbée.

Un milieu est isotrope lorsque ses propriétés sont les mêmes dans toutes les directions

Un rayon lumineux empruntera le même chemin pour aller de A à B que pour revenir de B à A. Il s'agit du principe de retour inverse de la lumière.



Un faisceau lumineux est un ensemble de rayons lumineux provenant d'une même source.

2.3- Vitesse de la lumière

La vitesse de la lumière dans le vide, que l'on notera c pour célérité, est une constante physique universelle importante dans de nombreux domaines de la physique.

Sa valeur exacte est de 299 792 458 m/s, soit environ $3 \cdot 10^8$ m/s ou 300 000 km/s.

Selon la relativité restreinte, la vitesse de la lumière dans le vide est la vitesse maximale que peuvent atteindre toutes formes de matière ou d'information dans l'univers.

La vitesse de la lumière n'est pas la même dans tous les milieux et se propage dans les matériaux transparents (tels que le verre, l'air, l'eau) à une vitesse inférieure à c .

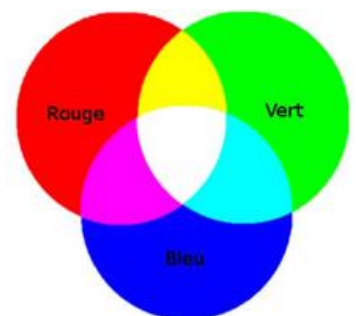
Remarque: La lumière des étoiles a quitté ces astres depuis fort longtemps, de sorte que l'on peut étudier l'histoire de l'univers par l'observation de ces objets distants: "plus l'on regarde loin, plus l'on regarde dans le passé".

2.4- Lumières colorées

La lumière blanche est composée de lumières colorées appelées radiations: Bleu, Vert et Rouge qui sont les couleurs fondamentales et Jaune, Cyan et Magenta qui sont les couleurs secondaires.

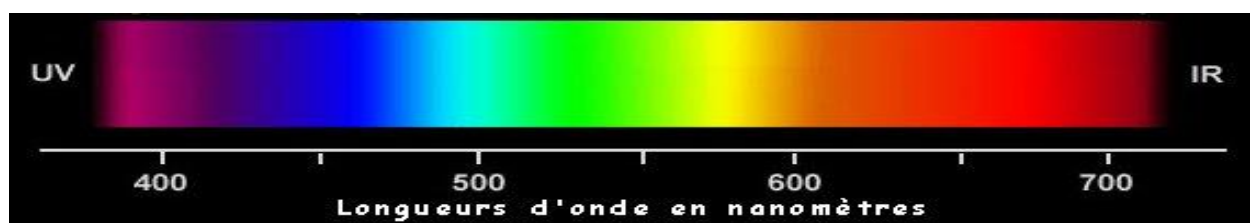
Remarque: Les différentes teintes de lumières colorées peuvent être obtenues par additions des trois couleurs fondamentales (couleurs primaires) perçues par l'œil.

- Rouge + Vert + Bleu = Blanc
- Rouge + Vert = Jaune
- Vert + Bleu = Cyan
- Bleu + Rouge = Magenta



Le spectre lumineux est l'ensemble des lumières colorées observées. Il y a deux couleurs non visibles, l'ultraviolet et l'infrarouge. L'analyse de la lumière solaire distingue 7 couleurs Violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

Le spectre de la lumière blanche comporte une infinité de couleur, c'est un spectre continu.



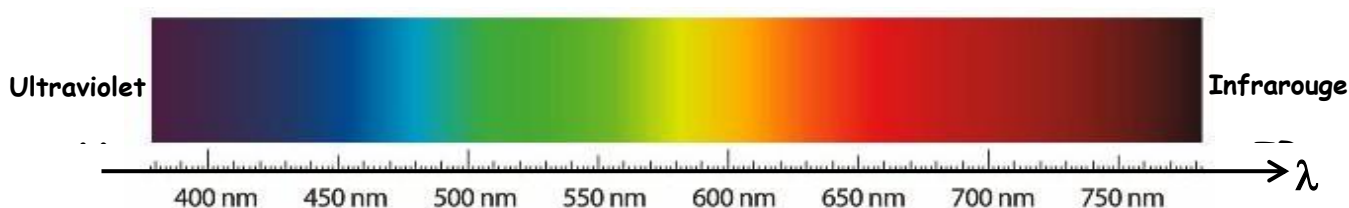
La lumière se propage suivant des ondes (de longueurs d'onde différentes) captées par trois séries de cônes de l'œil. Chacune d'entre elles étant plus sensible à une longueur d'onde qu'à une autre. Cette longueur d'onde est alors interprétée par notre cerveau comme étant une "couleur".

Remarque: La lumière émise par le Soleil ou par une lampe à incandescence est constituée de toutes les lumières visibles par l'œil humain: elle est appelée lumière blanche.

2.5- Longueur d'onde d'une radiation

A Chaque radiation est associée, dans l'air ou dans le vide, une grandeur appelée longueur d'onde et noté λ . Elle s'exprime en mètre.

La longueur d'onde des radiations visibles s'exprime plutôt en nanomètres ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$), puisqu'il s'agit d'un domaine de radiations électromagnétiques dont la longueur d'onde est comprise entre 380nm (violet) et 780nm (rouge).

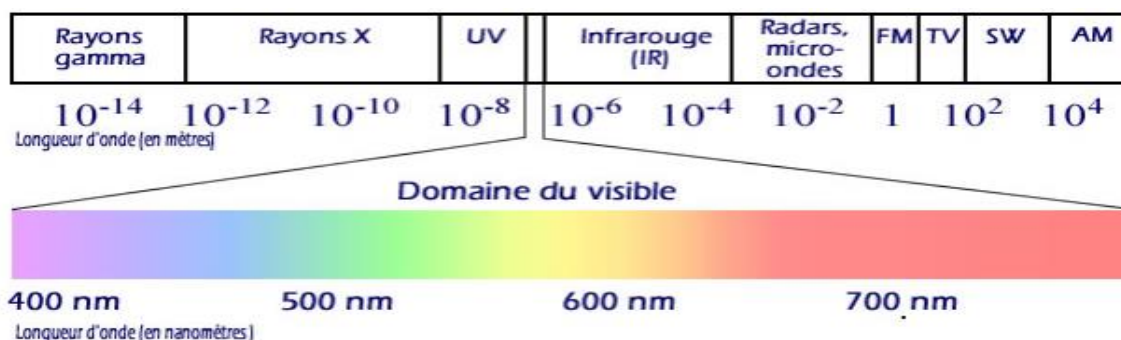


Le domaine des radiations lumineuses est encadré par le domaine des radiations IR (infra rouge), et celui des radiations UV (ultraviolettes).

Les radiations IR sont invisibles, et elles ont des longueurs d'onde inférieures à celle des radiations rouges du domaine visible. Le domaine des IR est situé "à côté" des radiations rouges du visible. Les radiations IR sont produites par les corps chauds, l'émission maximale étant située autour de 500°C . Elles sont très utilisées pour des activités de chauffage.

Les UV sont invisibles, mais peuvent être détectées grâce à la fluorescence qu'ils produisent. Elles sont présentes dans la lumière du soleil et dans certaines lampes telles en exemple la lampe à vapeur de mercure. Elles ont une fonction importante dans la photosynthèse.

Les radiations dont la fréquence n'entre pas dans ce domaine appartiennent à d'autres domaines (UV, IR, rayons X, rayons Gamma, micro-ondes, ondes radio...).



2.6- La lumière monochromatique

Une source de lumière est monochromatique si le spectre de la lumière qu'elle émet ne présente qu'une seule raie. Elle est donc caractérisée par une seule fréquence, donc une seule longueur d'onde dans le vide.



Le laser est une source de lumière monochromatique c'est-à-dire composée d'une seule radiation.

Une lumière monochromatique ne peut pas être décomposée elle n'est constituée que d'une seule radiation (couleur), à laquelle on associe une longueur d'onde λ (m).

2.7- La lumière polychromatique

Une source de lumière est polychromatique si le spectre de la lumière qu'elle émet présente plusieurs raies. Elle est donc caractérisée par plusieurs fréquences, donc plusieurs longueurs d'onde dans le vide.



Une lampe à vapeur de sodium ou de mercure sont des sources de lumière polychromatiques c'est à dire composée de plusieurs radiations.

Une lumière polychromatique peut être décomposée en plusieurs radiations (couleurs), auxquelles on associe différentes longueurs d'onde λ_n (m).

3- Réflexion et réfraction de la lumière

3.1- Le phénomène de réflexion

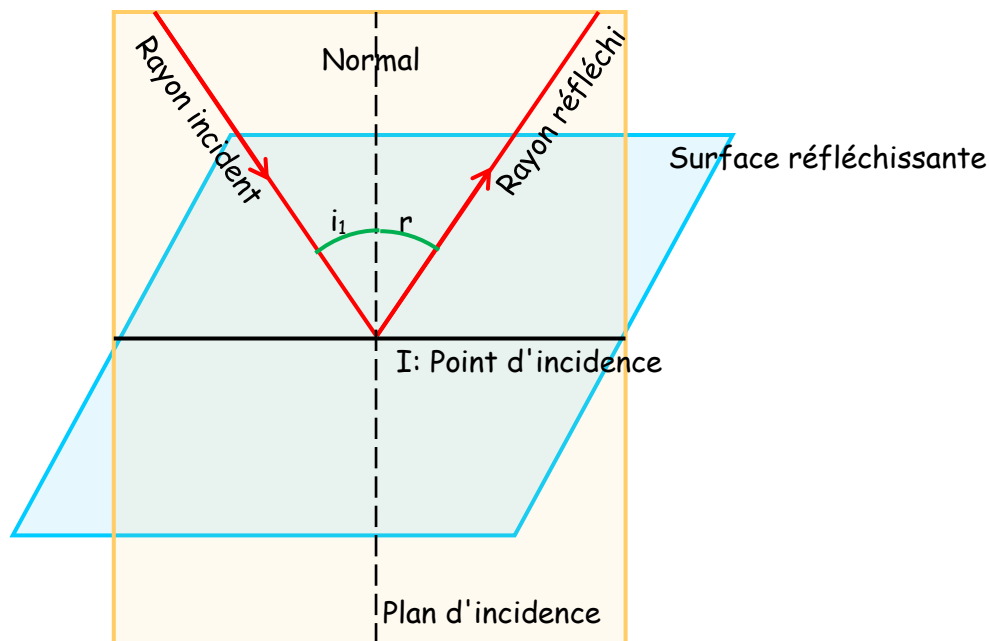
Les rayons lumineux se propagent en ligne droite dans les milieux transparents. Mais ils peuvent changer de direction dans deux cas.

Quand des rayons lumineux atteignent un milieu réfléchissant les rayons changent de direction: c'est la réflexion.

Quand un faisceau lumineux arrive au niveau d'une surface réfléchissante, le faisceau est réfléchi selon un angle bien précis. On appelle généralement I le point d'incidence du rayon lumineux, c'est-à-dire le point où le faisceau lumineux arrive sur une surface polie.

La droite perpendiculaire au point d'incidence est appelée normale ou normale au point d'incidence.

Quand un rayon lumineux incident arrive au niveau du point d'incidence I avec un angle d'incidence i_1 le rayon réfléchi repart avec un angle de réflexion r .



Ainsi la réflexion de la lumière peut se produire à la surface d'une vitre en verre, à la surface d'un miroir ou encore à la surface de l'eau.

Le miroir est un objet suffisamment poli pour réfléchir la lumière. L'image dans un miroir est droite, de même taille et surtout symétrique. Elle est indépendante de la position de l'observateur.



3.2- Le phénomène de réfraction

On peut reproduire l'expérience historique d'Archimède. Si on pose un objet au fond d'un bol et si on s'éloigne jusqu'à ce que l'objet en question ne se voie plus, on le verra réapparaître à cette distance dès que l'on remplira le bol.



Le phénomène observé est dû à la réfraction de la lumière lors du changement de milieu eau-air. Il y a alors déviation des rayons lumineux ce qui permet de voir la pièce dans le bol en présence d'eau.

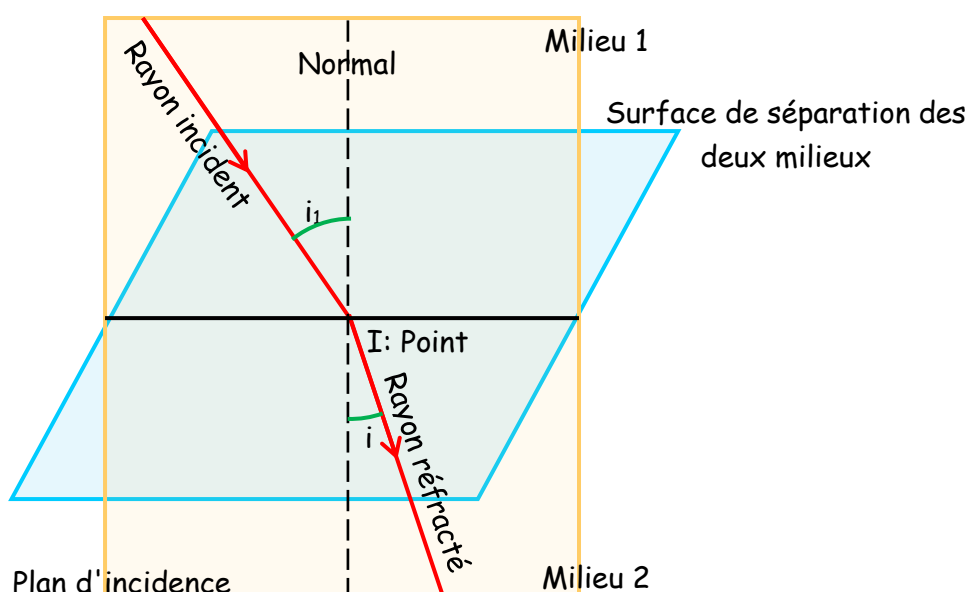
Lorsqu'on envoie des rayons lumineux monochromatiques (Lasers) sur la surface libre de l'eau colorée avec de la fluorescéine, on constate que:

- Une petite partie de la lumière est réfléchi.
- Une majeure partie du faisceau pénètre dans l'eau avec un changement de direction: le faisceau semble brisé



Le premier phénomène est celui de la réflexion partielle.

Le phénomène pour lequel la lumière change de direction lorsqu'elle passe d'un milieu transparent à un autre, s'appelle la réfraction.



Quand un rayon lumineux incident arrive au niveau du point d'incidence I avec un angle d'incidence i_1 le rayon traverse la surface de séparation entre les deux milieux et le rayon réfracté repart avec un angle de réfraction i_2 .

3.4- Les lois de la lumière

Les phénomènes de réflexion et de réfraction sont régis par les lois de Snell-Descartes.

1^{ère} loi: Les rayons réfléchi et réfracté appartient au plan défini par le rayon incident et la normale à la surface de séparation (dioptre).

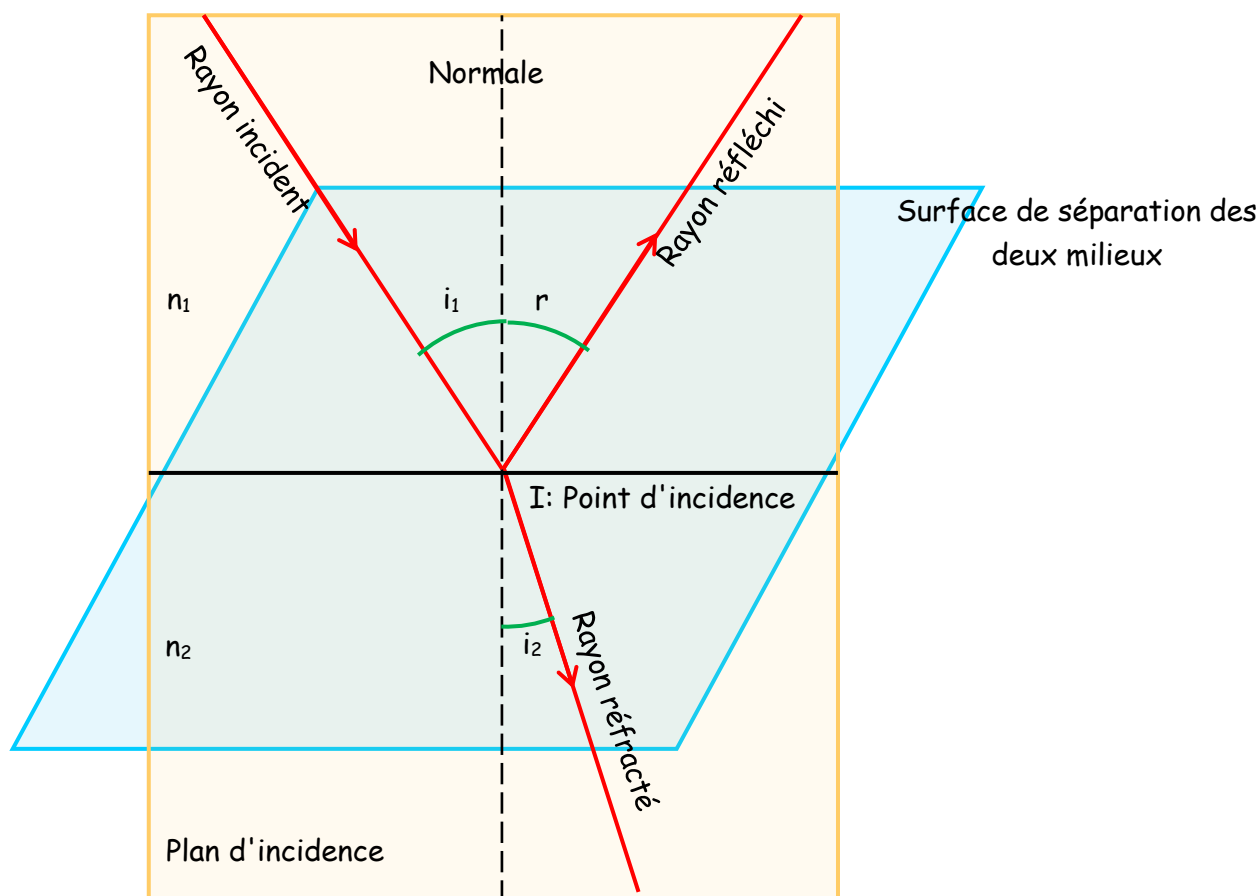
2^{ème} loi: Les angles d'incidence i_1 et de réflexion r ont des valeurs identiques:

$$i_1 = r$$

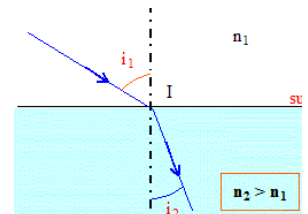
3^{ème} loi: Les angles d'incidence i_1 et de réfraction i_2 sont liés par la relation

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

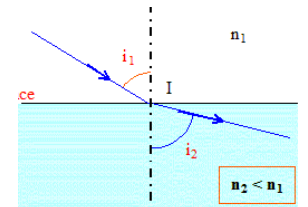
où n_1 et n_2 sont des nombres sans unité appelés indices de réfraction, qui caractérisent les milieux d'incidence et de réfraction.



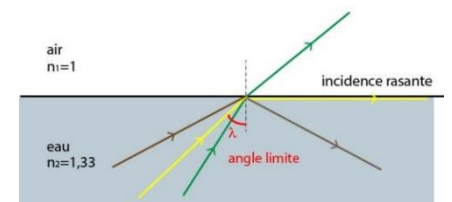
Si le milieu d'incidence est moins réfringent que le milieu de réfraction ($n_1 < n_2$) alors l'angle de réfraction est inférieur à l'angle d'incidence ($i_2 < i_1$). Le rayon réfracté se rapproche de la normale.



Si le milieu d'incidence est plus réfringent que le milieu de réfraction ($n_1 > n_2$) alors l'angle de réfraction est supérieur à l'angle d'incidence ($i_2 > i_1$). Le rayon réfracté s'éloigne de la normale.



Remarque: Dans le cas où l'indice du milieu d'incidence est supérieur à celui du milieu de réfraction, il existe une valeur d'angle au-dessus de laquelle on ne peut plus déterminer de valeur pour l'angle de réfraction. Il s'agit d'un angle limite pour lequel on commence à observer une réflexion totale (mais plus de réfraction) du rayon incident.



3.5- L'indice de réfraction d'un milieu

L'indice de réfraction n représente en réalité le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide c ($c=3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$) par sa vitesse v (m.s^{-1}) dans le milieu:

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

L'indice de réfraction étant défini comme le rapport de deux grandeurs de même unité, il ne possède pas d'unité. Dans un milieu matériel, la vitesse de la lumière ne peut être supérieure à celle possédée dans le vide donc un indice de réfraction est toujours supérieur ou égal à 1.

Dans le tableau suivant on donne les indices de réfraction à $\lambda=589\text{nm}$ pour quelques matériaux typiques

Matériau	Indice
Vide	1,000000
Air	1,000293
Hélium	1,000036
Hydrogène	1,000132
Dioxyde de carbone	1,00045
Glace	1,309

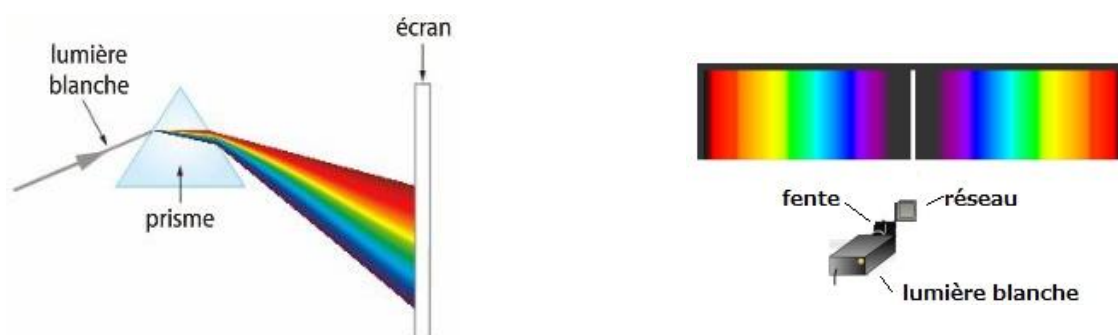
Matériau	Indice
Eau	1,333
Ethanol	1,36
Huile d'olive	1,47
Plexiglas	1,49
Verre crown	1,52
Verre flint	1,62

Remarque: Lorsqu'un faisceau de lumière blanche traverse un prisme, les radiations bleues sont plus déviées que les radiations rouges, parce que l'indice de réfraction d'un milieu dépend de la longueur d'onde. Certains milieux sont plus dispersifs que d'autres.

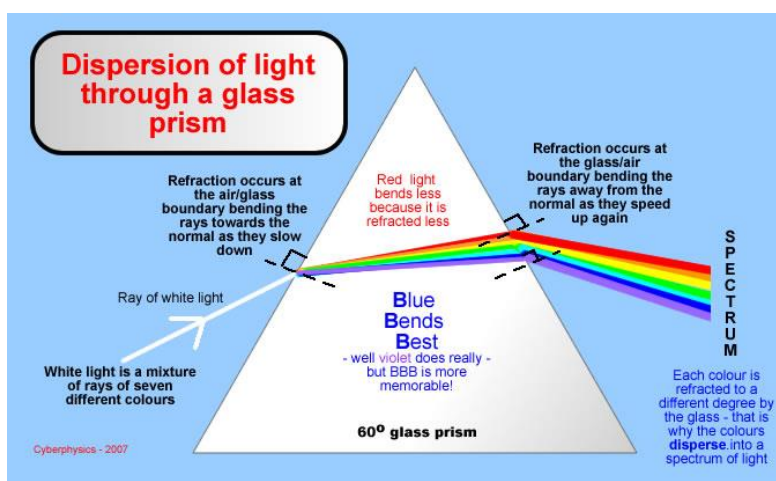
Matériau		Vide	Air	Eau	Verre Flint
Indices	n_{bleu}	1	1,000278	1,336	1,680
	n_{rouge}	1	1,000276	1,330	1,596

3.6- Décomposition de la lumière blanche

La lumière "blanche" peut être décomposée, à l'aide d'un prisme ou d'un réseau, en une infinité de lumières (ou radiations) colorées que l'on voit apparaître sur une figure qu'on appelle spectre de la lumière blanche.



Le phénomène de décomposition de la lumière est dû à celui de réfraction de la lumière pour le prisme et à celui de la diffraction pour le réseau.



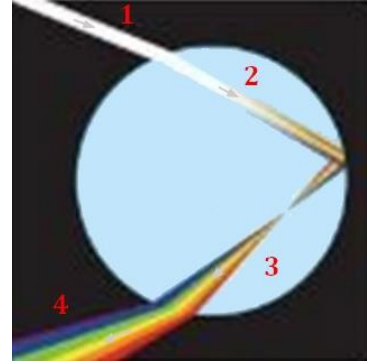
Remarque: Les gouttes d'eau se comportent comme un prisme. Elles décomposent la lumière du Soleil pour donner les couleurs de l'arc-en-ciel.

Le phénomène de décomposition de la lumière s'appelle la dispersion. La figure obtenue s'appelle le spectre lumineux de la lumière blanche.

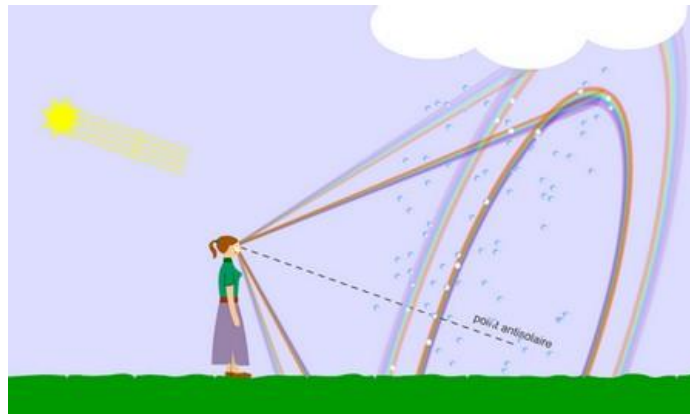
3.7- Réfraction de la lumière dans l'atmosphère

La formation de l'arc-en-ciel s'interprète par la dispersion de la lumière solaire dans les gouttes de pluie.

- 1- Le faisceau de lumière blanche issue du Soleil arrive à la surface d'une goutte d'eau en suspension dans l'air.
- 2- Lors du changement de milieu transparent, passage air-eau, le faisceau de lumière se réfracte et ses différentes radiations se dispersent.
- 3- Les radiations se réfléchissent au fond de la goutte d'eau.
- 4- En sortant de la goutte d'eau, les radiations subissent une nouvelle réfraction, lors du passage eau-air, cette deuxième réfraction accentue l'étalement des couleurs.



Remarque: Pour observer un arc-en-ciel, il faut avoir la pluie devant soi et le Soleil dans le dos.



En été, sur les routes chauffées par le Soleil, on peut avoir l'impression de voir des flaques d'eau au loin.

Lorsque l'on s'approche, ces flaques disparaissent. Cette illusion d'optique est un mirage.

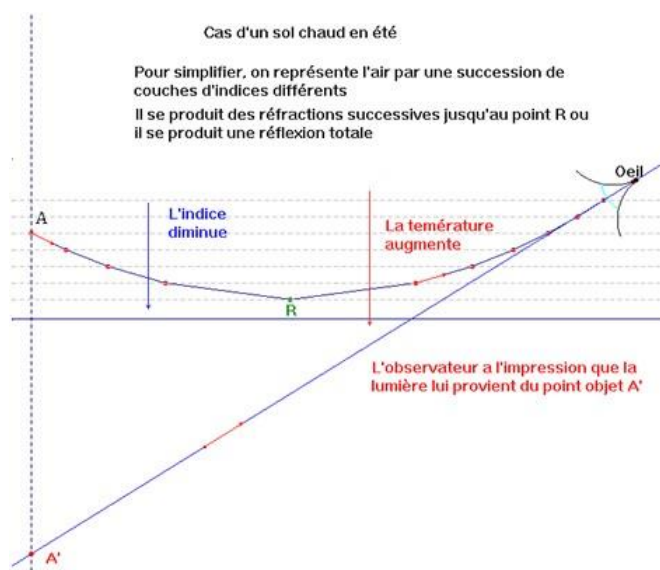


La température de l'air n'est pas homogène. Au niveau du sol, la température de l'air est plus élevée, et elle diminue avec l'altitude.

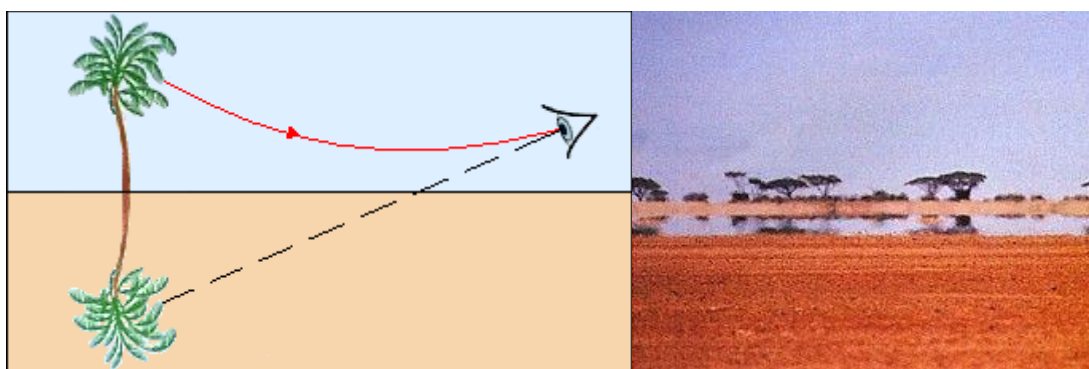
L'indice de réfraction de l'air diminue lorsque la température augmente.

Les rayons de lumière provenant d'un objet traversent des couches d'air d'indices différents et subissent des réfractions successives, jusqu'à un angle limite au-delà duquel ils sont réfléchis (ils subissent une réflexion totale).

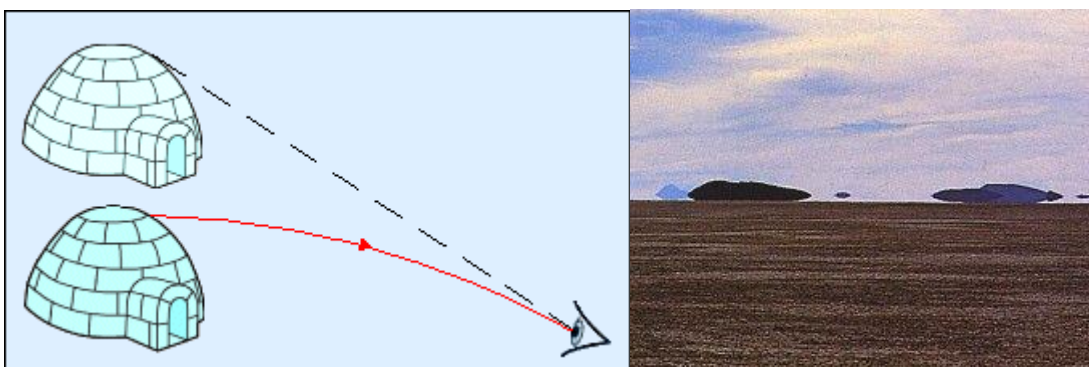
Un observateur a l'impression de voir l'objet dans la direction des rayons qui atteignent son œil.



Le mirage inférieur ou "mirage chaud" s'observe lorsque la température et l'indice de réfraction diminuent avec l'altitude. L'observateur a la sensation de voir l'image du paysage à travers un miroir d'eau.

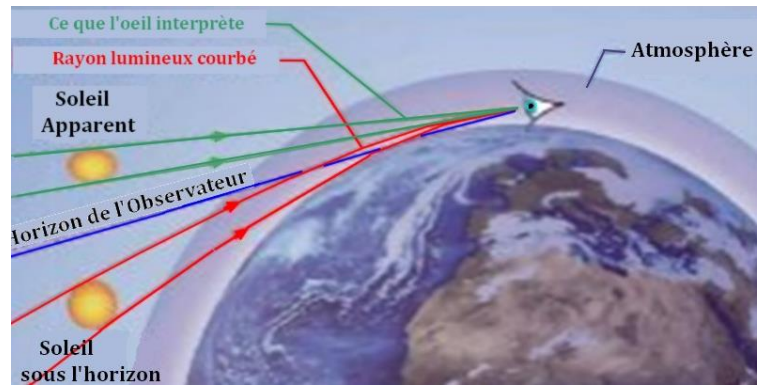


Le mirage supérieur ou "mirage froid" s'observe lorsque la température et l'indice de réfraction augmentent avec l'altitude. L'observateur a la sensation de voir l'image du paysage flotter dans l'air.



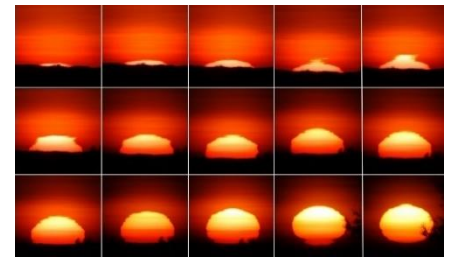
À cause de la réfraction, le Soleil, la Lune ou les étoiles peuvent être visibles au-dessus de l'horizon alors qu'en réalité ils sont déjà couchés ou pas encore levés.

Le Soleil est perçu au-dessus de sa position réelle par l'observateur. Cela allonge la durée du jour. On voit le Soleil avant qu'il soit levé ou après qu'il soit couché.



La réfraction de la lumière dans l'atmosphère donne du Soleil une image aplatie lorsqu'il est proche de l'horizon.

Lorsqu'il se couche, le Soleil peut montrer une palette de couleurs très variées et souvent flamboyantes.



Toutefois, c'est une couleur un peu plus insolite qui peut apparaître. En effet, lors d'un coucher de soleil, des observateurs ont vu apparaître des lumières vertes au sommet du disque solaire. Des lumières qui ont duré quelques instants avant de disparaître.

Aussi étonnant qu'il paraisse, ce phénomène n'est pas une illusion, il est bien réel et est même bien connu. C'est ce qu'on appelle un "rayon vert". Il s'agit d'un phénomène optique qui apparaît lorsque le Soleil se lève ou se couche. Il peut alors prendre différentes formes: celle d'un point vert lumineux, d'un rayon vert intense diffus ou encore celle d'un arc vert. Il peut apparaître lorsque le disque solaire est encore bien visible ou alors lorsqu'il a quasiment disparu. Généralement, le phénomène dure à peine quelques secondes avant de disparaître. D'où le nom de "flash vert" parfois donné.

Si le phénomène a de quoi stimuler l'imagination des fans de science-fiction, il s'explique facilement. Il est dû à la réfraction de la lumière par l'atmosphère.

