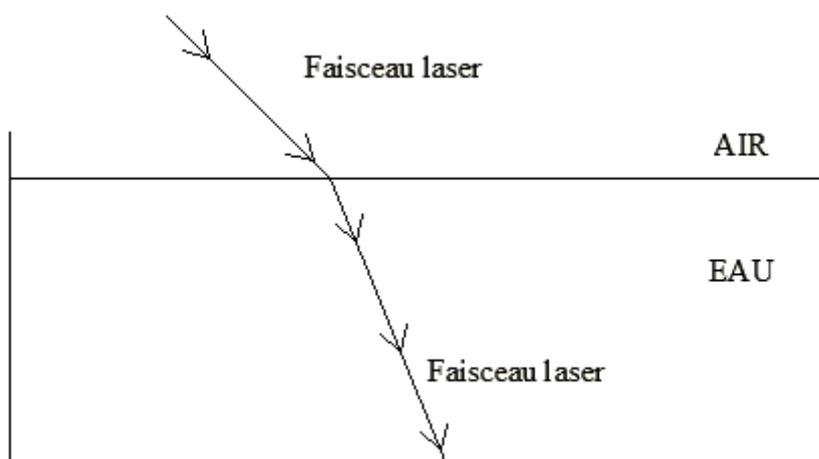


I. Réfraction de la lumière

A. Mise en évidence expérimentale

1. Expérience



2. Observation

- Dans l'air et dans l'eau, la lumière se propage en ligne droite. C'est le phénomène de propagation rectiligne de la lumière.
- Le faisceau lumineux change brusquement de direction lorsqu'il franchit la surface de séparation AIR / EAU.

B. Le phénomène de réfraction

Lorsqu'on plonge une cuillère dans un verre d'eau, on peut observer qu'elle paraît cassée. Comment expliquer ce phénomène ? Il s'agit du phénomène de réfraction !

La réfraction est le changement de direction que subit un rayon lumineux quand il traverse la surface de deux milieux transparents différents. Un rayon perpendiculaire à la surface n'est pas dévié.

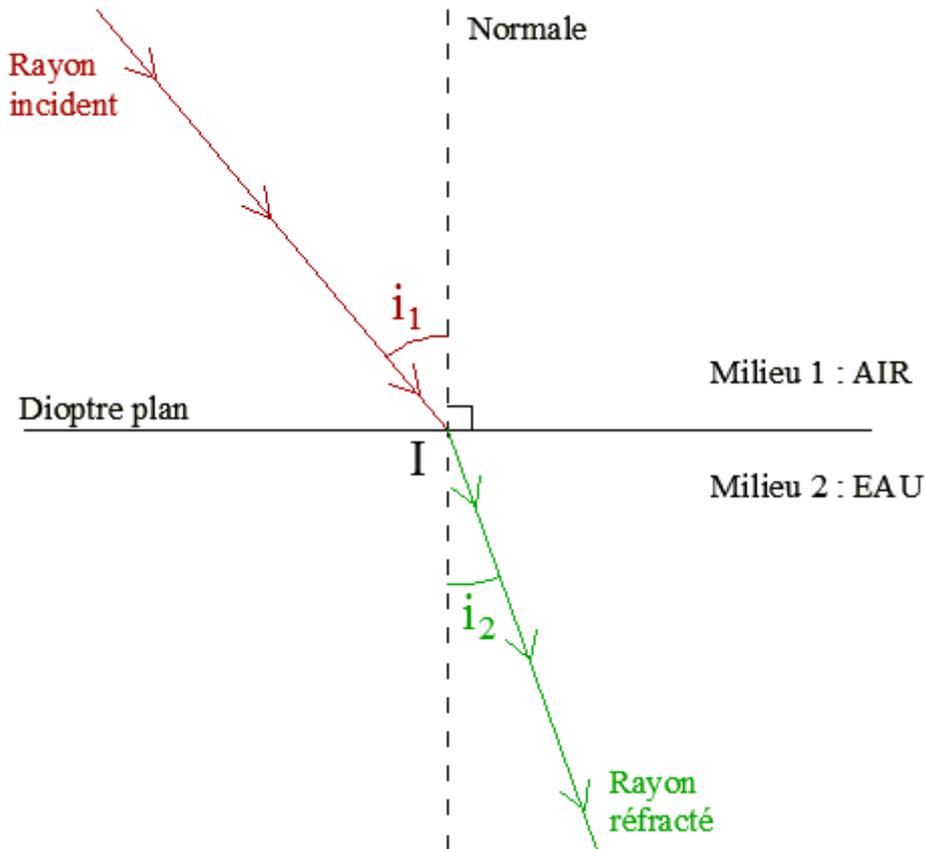
Remarque :

Il existe aussi un rayon réfléchi (phénomène de réflexion lumineuse).

C. Les lois de la réfraction

1. Notations

Chapitre 5 - Réfraction et dispersion de la lumière



- La surface qui sépare deux milieux transparents différents est appelée le dioptre.
- Le milieu 1 est l'air et le milieu 2 est l'eau.
- Le rayon se propageant dans le milieu 1 est appelé le rayon incident.
- Le point I est le point d'intersection entre le rayon incident et le dioptre, il est également appelé le point d'incidence.
- La droite perpendiculaire au dioptre passant par I est appelée la Normale, que l'on représente en pointillé car c'est une ligne imaginaire.
- Le plan défini par le rayon incident et la normale au dioptre est appelé le plan d'incidence (C'est le plan de la feuille dans notre cas).
- Le rayon se propageant dans le milieu 2 est appelé le rayon réfracté
- L'angle entre le rayon incident et la normale au dioptre est appelé angle d'incidence noté i_1 .
- L'angle entre le rayon réfracté et la normale au dioptre est appelé angle de réfraction noté i_2 .

Attention: Ne pas confondre rayon incident (ou rayon réfracté) avec l'angle d'incidence i_1 (ou l'angle réfracté i_2).

Chapitre 5 - Réfraction et dispersion de la lumière

2. Enoncé des deux lois de Descartes

Première loi de Descartes :

Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence.

Deuxième loi de Descartes :

L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 vérifient la relation suivante :

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

n_1 est l'indice de réfraction du milieu 1.
 n_2 est l'indice de réfraction du milieu 2.

L'indice de réfraction n caractérise un milieu transparent où n est un nombre sans unité, supérieur ou égal à 1.

Indice de réfraction de différents milieux transparents :

Milieu	Indice (n)
Air, vide	1
Eau	1,33
Ethanol	1,36
Plexiglas	1,50
Verre	1,50
Diamant	2,42

(Ces mesures sont réalisées à l'aide d'un réfractomètre)

On a vu que c (célérité) est la vitesse de la lumière dans le vide, cela veut dire que **dans un milieu différent, celle-ci doit être différente, dans ce cas là on la note v .**

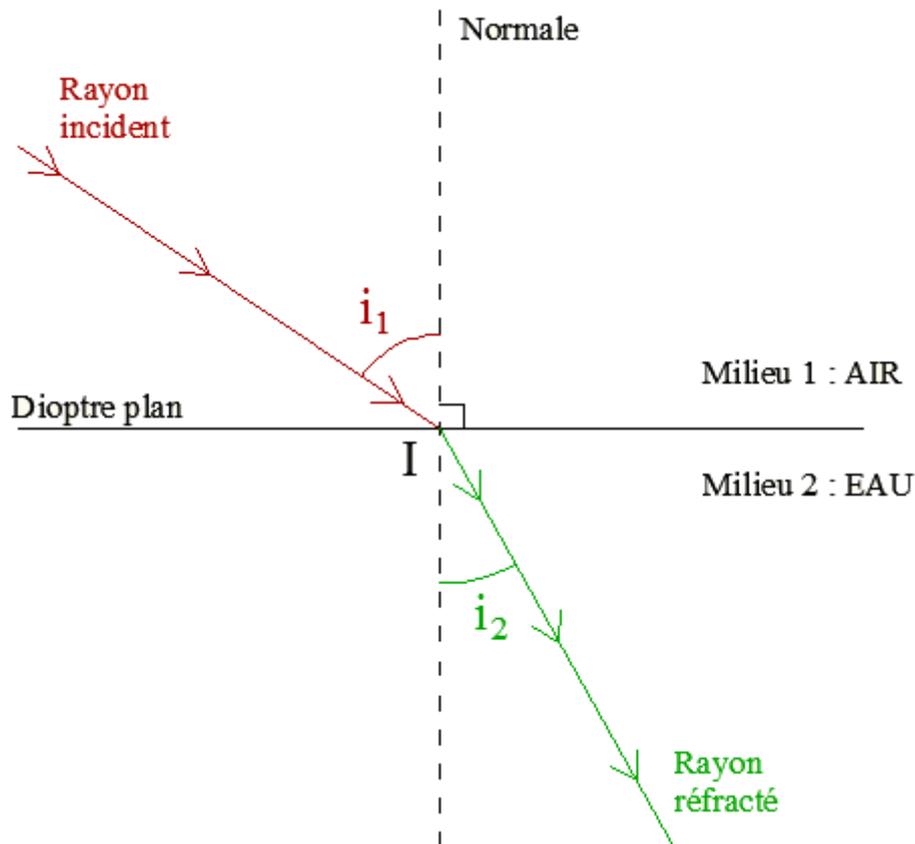
L'indice d'un milieu est une grandeur sans unité, et la relation qui relie n , c , v est :

$$n = \frac{c}{v} \geq 1$$

On sait que $n = \frac{c}{v}$ donc $n \geq 1$ car c est une vitesse limite dans l'univers et que l'on ne peut donc pas dépasser. (Rappelons aussi que c est une constante qui vaut $3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.)

3. Conséquences : Etudes de trois cas

Cas n° 1 (Milieu 1 : AIR, Milieu 2 : EAU)



Selon la deuxième loi de Descartes,

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

$$\text{Milieu 1: AIR} \Rightarrow n_1 = 1$$

$$\text{Milieu 2: EAU} \Rightarrow n_2 = 1,33$$

D'où, $\sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$ (car $n_1 = 1$)

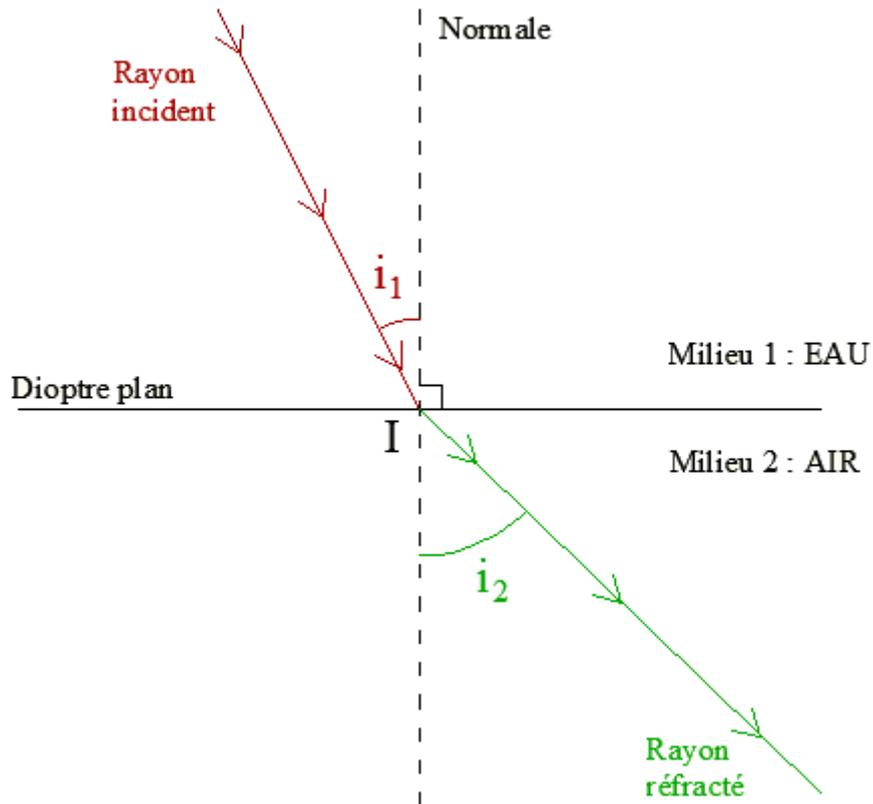
On peut donc dire que : $\sin i_1 > \sin i_2$ ($\sin i_1$ est en effet 1,33 fois plus grand que $\sin i_2$)

soit :

$$\boxed{\begin{array}{l} \sin i_1 > \sin i_2 \\ i_1 > i_2 \end{array}}$$

Propriété : Quand un rayon arrive de l'air et se réfracte dans un milieu transparent quelconque, il se rapproche de la normale

Cas n° 2 (Milieu 1 : EAU, Milieu 2 : AIR)



Selon la deuxième loi de Descartes,

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

$$\text{Milieu 1: EAU} \Rightarrow n_1 = 1,33$$

$$\text{Milieu 2: AIR} \Rightarrow n_2 = 1$$

D'où, $\sin i_2 = n_1 \cdot \sin i_1$ (car $n_2 = 1$)

On peut donc dire que : $\sin i_2 > \sin i_1$ ($\sin i_2$ est en effet 1,33 fois plus grand que $\sin i_1$)

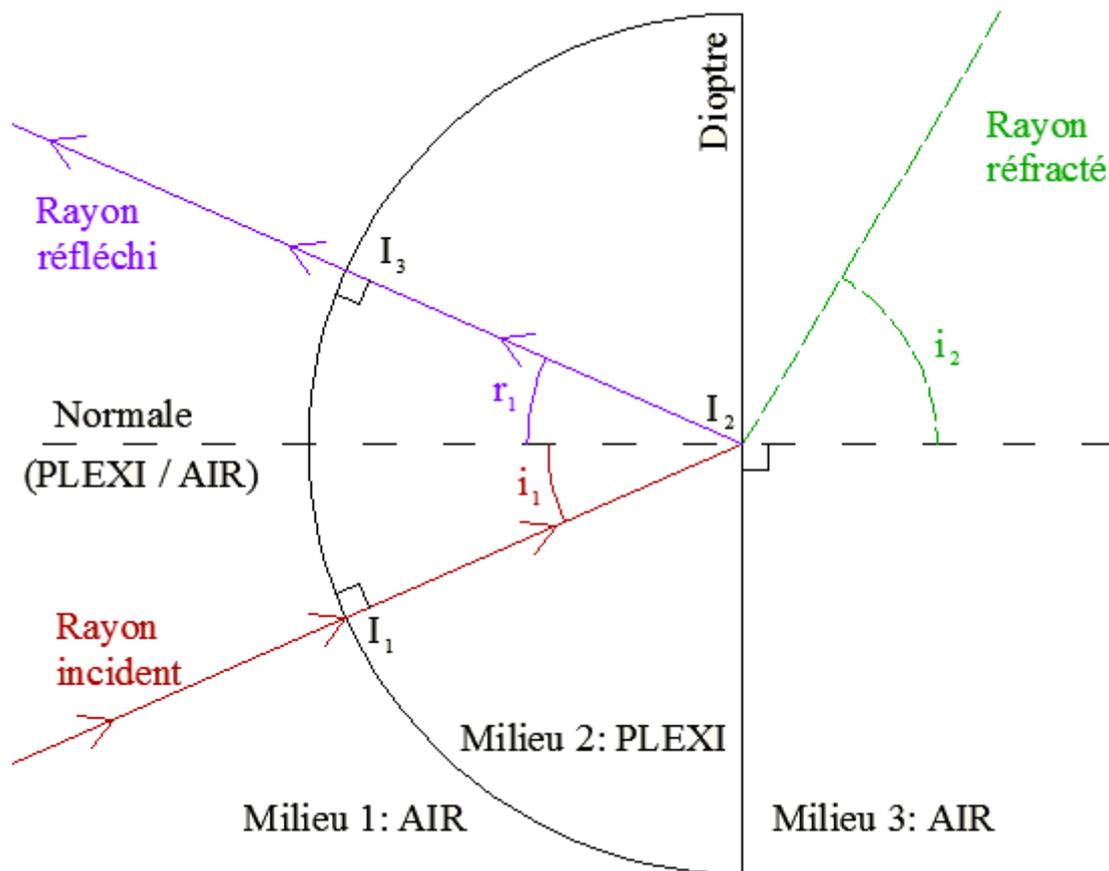
soit :

$\sin i_2 > \sin i_1$ $i_2 > i_1$

Propriété: Quand un rayon arrive d'un milieu transparent quelconque et se réfracte dans l'air, le rayon réfracté s'éloigne de la normale.

Chapitre 5 - Réfraction et dispersion de la lumière

Cas n° 3 (Milieu 1 : AIR, Milieu 2 : PLEXI, Milieu 3 : AIR)



Le rayon incident qui pénètre dans l'hémi-cylindre de plexiglas n'est pas dévié au point d'incidence I_1 . En effet, le rayon lumineux arrive perpendiculairement à la tangente du demi-cercle passant par I_1 . Le rayon lumineux se confond donc avec la normale, donc il n'est pas réfracté.

Calcul de l'angle de réfraction i_2 si $i_1 = 30^\circ$

Selon la deuxième loi de Descartes,

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

$$\text{Milieu 1: AIR} \Rightarrow n_1 = 1$$

$$\text{Milieu 2: PLEXI} \Rightarrow n_2 = 1,50$$

$$\text{D'où: } \sin i_2 = \frac{n_1 \cdot \sin i_1}{n_2}$$

$$\sin i_2 = \frac{1,50 \cdot \sin 30^\circ}{1}$$

$$\sin i_2 = 0,75$$

$$\text{D'où: } i_2 \approx 48,6^\circ$$

L'angle d'incidence est donc d'environ $48,6^\circ$.

Chapitre 5 - Réfraction et dispersion de la lumière

Calcul de l'angle de réfraction i_2 si $i_1 = 50^\circ$

Selon la deuxième loi de Descartes,

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

$$\text{Milieu 1: AIR} \Rightarrow n_1 = 1$$

$$\text{Milieu 2: PLEXI} \Rightarrow n_2 = 1,50$$

D'où: $\sin i_2 = \frac{n_1 \cdot \sin i_1}{n_2}$

$$\sin i_2 = \frac{1,50 \cdot \sin 50^\circ}{1}$$

$$\sin i_2 \approx 1,15$$

Donc: $\sin i_2 > 1$ or c'est **IMPOSSIBLE** car un $\sin \alpha \leq 1$

Il n'y aura donc pas de rayon réfracté si l'angle d'incidence $i_1 = 50^\circ$. A partir d'un certain angle d'incidence, le rayon ne se réfractera pas.

En revanche, il y aura un rayon réfléchi avec un angle de réflexion $r_1 = i_1$. Le rayon de réflexion sera donc la symétrie axiale du rayon incident par rapport à la normale.

II. Dispersion de la lumière blanche par un prisme

A. Expériences de Newton

1. Regarder des cartons colorés à travers un prisme

Newton, pour comprendre les phénomènes colorés liés à la réfraction, mène alors une série d'expériences qui resteront célèbres. Dans la première d'entre elles, il observe des cartons colorés à travers un prisme. **Le prisme est un bloc de verre transparent, et les deux réfractions qui ont lieu lors du passage de la lumière de l'air au verre, puis du verre à l'air, se font dans le même sens** (contrairement au cas d'un parallélépipède où les réfractions se compensent et la lumière incidente ressort avec la même direction). Il observe alors que la position apparente d'un carton rouge et d'un carton bleu sont différentes. Le trajet de la lumière est différent dans les deux cas, ce qui signifie que la réfraction de la lumière bleue est différente de celle de la lumière rouge.

2. Une expérience historique

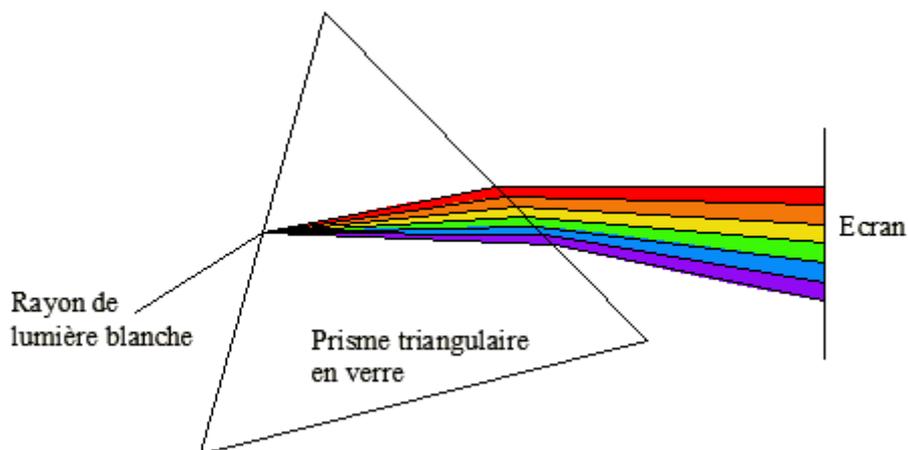
Ce résultat sera confirmé par la deuxième expérience de Newton, beaucoup plus originale. Par un trou percé dans un volet, il laisse entrer un fin pinceau de lumière dans la pièce contenant ses expériences, et fait passer ce faisceau dans un prisme. Il observe alors que la lumière qui sort du prisme s'étale en une multitude de faisceaux colorés, reproduisant les couleurs de l'arc-en-ciel.

L'apparition de couleurs à la traversée d'un prisme avait déjà été observée avant Newton. Le grand apport de ce dernier vient de l'expérience suivante, qu'on appelle parfois "*experimentum crucis*" ce qui signifie "expérience-clé". Elle consiste à faire passer une partie de la lumière dispersée par le premier prisme dans un second. Newton montra ainsi que la couleur n'était pas altérée par le passage dans le second prisme.

Chapitre 5 - Réfraction et dispersion de la lumière

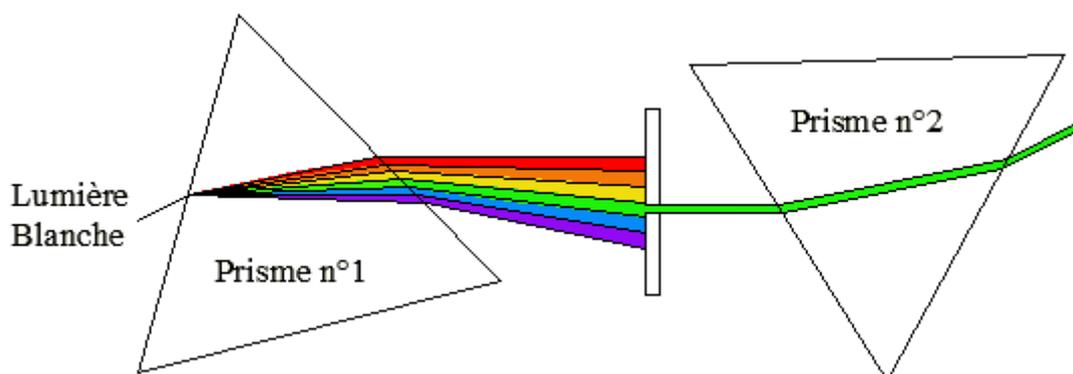
Newton mena un grand nombre d'autres variations de ces expériences, présentées dans son ouvrage "Opticks". Il montra notamment qu'en recombinaison ces faisceaux colorés, on reproduit un faisceau de lumière blanche.

1^{ère} Expérience :



On fait passer un faisceau de lumière blanche à travers un prisme en verre et on place un écran en face des rayons réfractés. On peut observer un étalage de couleur semblable à celle de l'arc en ciel. Ce phénomène s'appelle la dispersion de la lumière par un prisme.

2^{ème} Expérience :



On réalise la même expérience que là n°1 et on capte à travers un écran troué juste un rayon d'une des longueurs d'onde, que l'on fait traverser à travers un deuxième prisme. On peut observer que ce faisceau de longueur d'onde subit juste une double réfraction, en effet ce rayon ne subit pas le phénomène de dispersion car il n'est composé que d'une seule longueur d'onde, contrairement à la lumière blanche qui est composée d'une infinité de longueur d'onde.

3. Interprétation des résultats

Newton interprète ces résultats de la façon suivante : la lumière blanche est constituée de rayons associés à des couleurs différents, et correspondants aussi à des indices de réfraction différents. Les couleurs sont donc, selon ce point de vue, une propriété physique de la lumière (on sait aujourd'hui que la notion de couleur est plus complexe). Le fait que l'indice de réfraction soit différent pour des lumières différentes est aujourd'hui appelé "dispersion". Toutefois, Newton ne parvient pas

Chapitre 5 - Réfraction et dispersion de la lumière

vraiment à déterminer la propriété physique de la lumière qui fait qu'un rayon correspond à une couleur plutôt qu'une autre.

La découverte du phénomène de dispersion permit à Newton de fournir la première explication scientifique au phénomène d'arc-en-ciel, il s'agit du même phénomène que dans l'expérience précédente, le prisme étant remplacé par des gouttes d'eau.

Remarque : La lumière émise par le soleil ou une lampe est dite « lumière blanche ». C'est la superposition de toutes les couleurs.

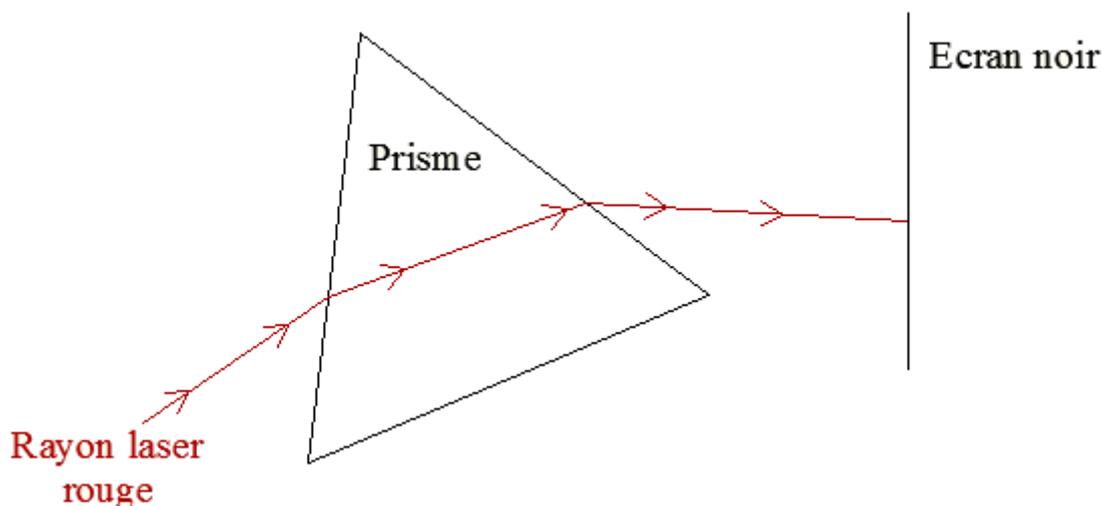
4. Conclusion

Le prisme dévie la lumière et décompose la lumière blanche en lumière colorée. C'est le **phénomène de dispersion de la lumière**.

La figure obtenue s'appelle **le spectre de la lumière blanche**. C'est un spectre continu du rouge au violet.

B. Peut-on décomposer toutes les lumières ?

1. Expérience avec de la lumière émise par un laser



Sur l'écran on observe un trait rouge :



Ecran de réception du rayon lumineux

Chapitre 5 - Réfraction et dispersion de la lumière

2. Observation

- On observe sur l'écran une raie fine rouge.
- Le faisceau laser est dévié et le spectre ne comporte qu'une couleur, la couleur rouge initiale du rayon émis.

3. Conclusion

La lumière émise par un laser ne peut être décomposée, elle est dite **monochromatique** (composée d'une seule couleur).

La lumière blanche en revanche est une superposition de lumières colorées, elle est dite **polychromatique** (composée de plusieurs couleurs).

C. Une grandeur physique pour caractériser une radiation colorée : La longueur d'onde

Une lumière monochromatique est appelée radiation chromatique.

A toute radiation monochromatique est associée une longueur d'onde dans le vide notée λ . Elle s'exprime en mètre, ou plus généralement en nanomètre ou micromètre.

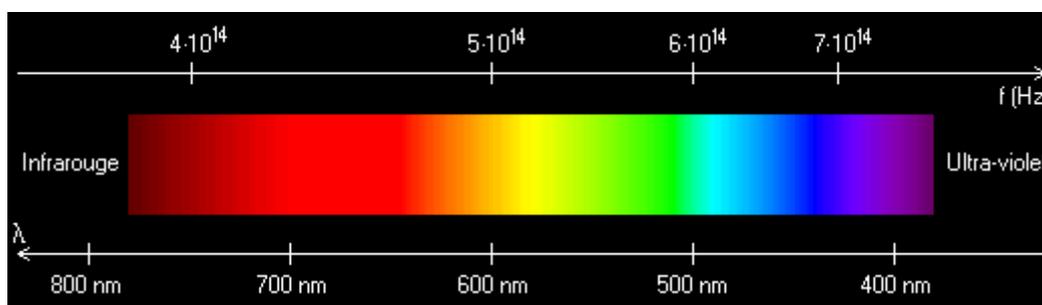
Exemple : La lumière monochromatique rouge émise par un laser est une radiation de longueur d'onde $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ dans le vide

La lumière blanche est constituée d'une infinité de radiations monochromatique.

III. Différents domaines de longueurs d'onde

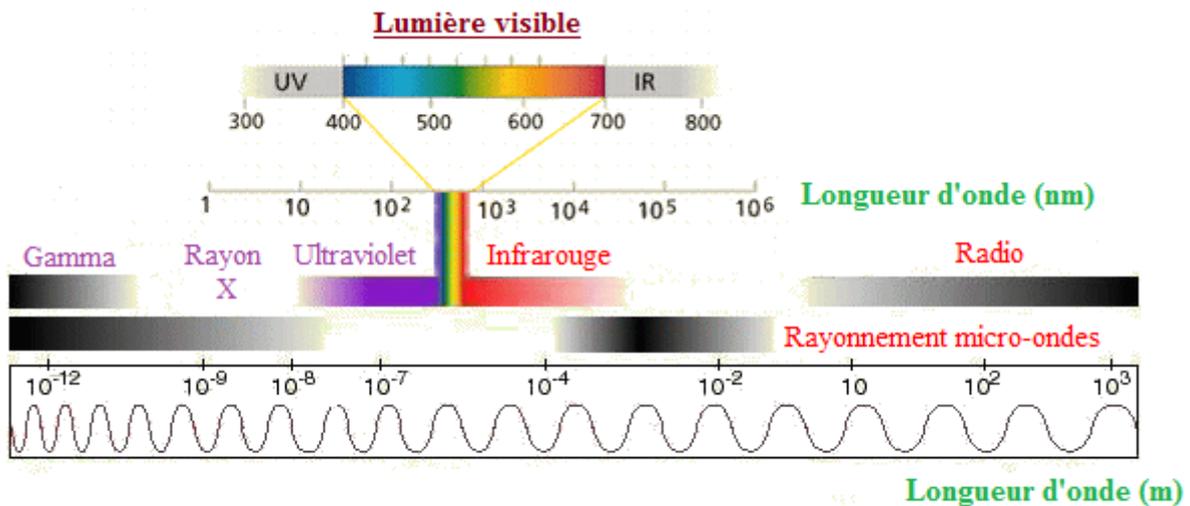
A. Domaine du visible

Le spectre de la lumière blanche contient toutes les radiations auxquelles l'œil humain est sensible, c'est-à-dire les radiations dont la longueur d'onde λ est comprise entre 400 et 700 nm



B. Autres radiations

Le spectre de la lumière se prolonge au delà du rouge et du violet. En effet, la lumière blanche contient des radiations invisibles à l'œil humain.



LE SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE

C. Bilan

λ en nm	400 à 420	420 à 500	500 à 575	575 à 590	590 à 620	620 à 750
Couleur	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge

IV. Pourquoi le prisme décompose-t-il la lumière blanche ?

On a vu que les différentes radiations qui décomposent la lumière blanche ne sont pas déviées de la même façon (le bleu est plus dévié que le rouge).

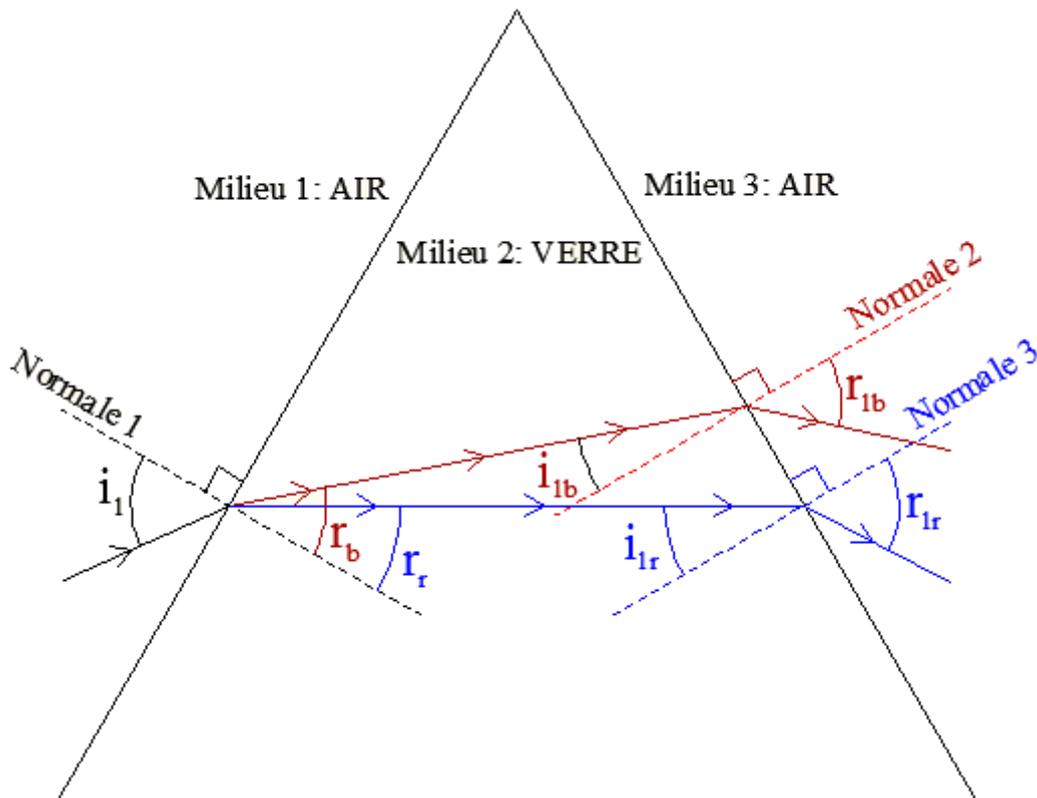
Lorsque la lumière arrive sur le prisme, elle subit deux réfractions : une sur la face d'entrée et une sur la face de sortie.

A. Expérience : Etude de la réfraction sur le dioptré AIR / VERRE

Un rayon de lumière blanche (qui n'est donc pas un laser) traverse un prisme en verre.

On retrouve donc :

- i_1 = angle d'incidence
- r_r = angle de réfraction du faisceau rouge (du dioptré AIR / VERRE)
- r_b = angle de réfraction du faisceau bleu (du dioptré AIR / VERRE)
- i_{1b} = angle d'incidence du faisceau rouge
- i_{1r} = angle d'incidence du faisceau bleu
- r_{1r} = angle de réfraction du faisceau rouge (du dioptré VERRE / AIR)
- r_{1b} = angle de réfraction du faisceau bleu (du dioptré VERRE / AIR)



- D'après la seconde loi de Descartes, pour la radiation bleue, on peut dire que :

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin r_b$$

Milieu 1: AIR $\Rightarrow n_1 = 1$

Milieu 2: VERRE $\Rightarrow n_2$

D'où:

$$\sin i_1 = n_2 \cdot \sin r_b \quad (\text{car } n_1 = 1)$$

- De même pour la radiation rouge:

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin r_r$$

D'où:

$$\sin i_1 = n_2 \cdot \sin r_r \quad (\text{car } n_1 = 1)$$

- On retrouve donc:

$$n_2 \cdot \sin r_r = n_2 \cdot \sin r_b$$

D'où:

$$r_r = r_b \quad \text{Or c'est ABSURDE!}$$

L'expérience montre que $r_r \neq r_b$ pour le même angle d'incidence i_1 , l'indice de réfraction du verre est donc différent pour ces 2 radiations.

On notera donc en effet :

$$n_{2r} \cdot \sin r_r = n_{2b} \cdot \sin r_b$$

B. Propriété 1

L'indice de réfraction d'un milieu transparent (tel que le verre) dépend de la longueur d'onde dans le vide de la radiation qui se propage. En effet, l'indice diminue lorsque la longueur d'onde augmente.

Exemple (pour le verre):

$$n_{\text{rouge}} = 1,510$$

$$n_{\text{bleu}} = 1,520$$

C. Propriété 2

On appelle milieu dispersif, un milieu transparent dont l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde