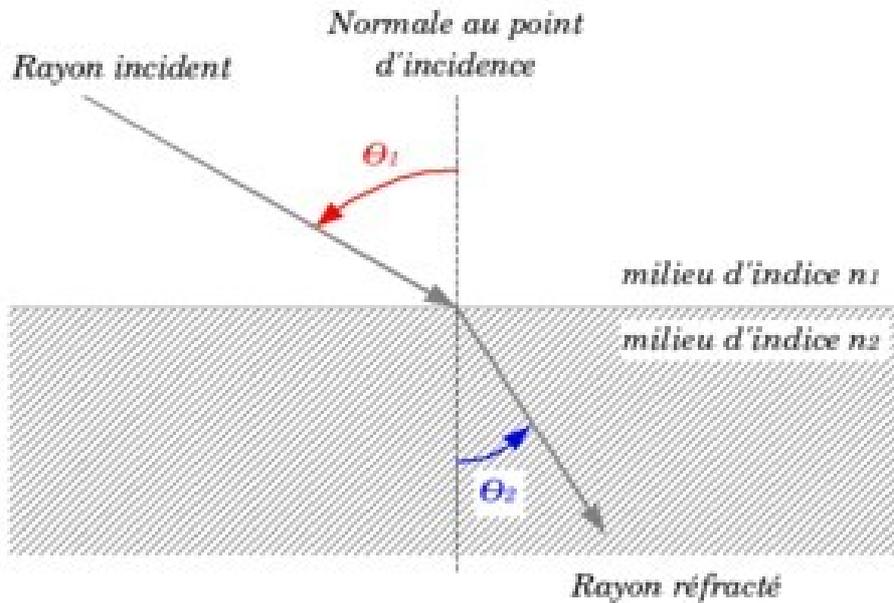


RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE



La réfraction de la lumière

Célérité de la lumière dans le vide $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

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

indice de réfraction du milieu transparent étudié - sans unité

célérité de la lumière dans le milieu transparent étudié en m.s^{-1}

Indice de réfraction

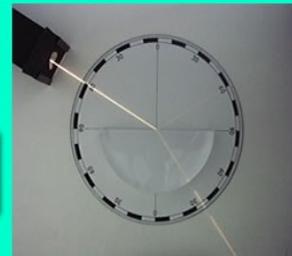
Le phénomène de refraction (I)

Lorsqu'on plonge un clou dans un récipient contenant de l'eau, on observe un phénomène particulier. Le clou paraît brisé à l'endroit où il pénètre dans l'eau. Ce phénomène s'appelle la **réfraction** et il se produit à l'**interface** entre deux milieux dans lesquels les **vitesse**s de **propagation** de la lumière sont **différentes**. Cette vitesse **dépend** de la **température** et de la **nature** du **milieu transparent** et de la **longueur d'onde** de la lumière.



Ce phénomène est reproduit avec du matériel de laboratoire et on peut observer que le rayon lumineux est dévié lorsqu'il passe de l'air dans le demi cylindre en verre.

Dans le vide, la vitesse de la lumière est de $299\,792\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Elle est plus faible quand elle traverse un corps transparent parce qu'elle interagit avec la matière. Par exemple, sa vitesse dans l'air est de $299\,552\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ alors qu'elle n'est que de $225\,707\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ dans l'eau à 20°C et moins encore dans le verre.



On définit l'**indice de réfraction n** d'un **milieu transparent** comme :

$$n = \frac{V_{\text{vide}}}{V_{\text{milieu transparent}}}$$

C'est le **rapport** entre la **vitesse** de la **lumière** dans le **vide** et celle dans le **milieu transparent**.

Comme la lumière se déplace toujours plus lentement dans un milieu transparent que dans le vide, la valeur de n est toujours plus grande que 1. Exemples :

air : $n = 1,0008$; eau : $n = 1,328$ (à 20°C) ; éthanol : $n = 1,362$; verres minéraux et organiques : $1,300 < n < 1,800$; huile de silicone : $n = 1,520$

Le phénomène de refraction (II)

Quand un rayon lumineux se déplaçant dans un milieu 1 pénètre dans un milieu 2 avec un angle θ_1 , il est réfracté avec un angle θ_2 dans ce second milieu.

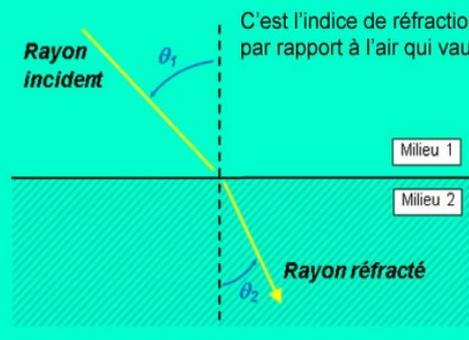
Il existe une relation qui relie les indices de réfraction n et les angles et qui s'écrit : $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

C'est la formule de Snell-Descartes. qui donne après transformation : $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$

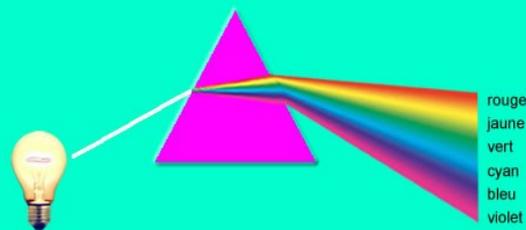
Si le rayon passe de l'air dans l'eau, on écrit : $\frac{n_{\text{eau}}}{n_{\text{air}}} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$

Et en exprimant n_{eau} par rapport à n_{air} , on obtient : $n_{\text{eau}/\text{air}} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$

C'est l'indice de réfraction relatif de l'eau par rapport à l'air qui vaut 1,33.



Les interactions de la lumière avec la matière sont d'autant plus fortes que le rayonnement lumineux est énergétique. En passant à travers un prisme plein, la lumière blanche est décomposée en ses couleurs de base en fonction de l'indice de réfraction propre à chaque longueur d'onde et on peut constater que la composante violette de la lumière qui est la plus énergétique est aussi la plus déviée.



Indice de réfraction absolu (n) :

La vitesse de la lumière dans le vide est constante ($c = 299\,792\,458\text{ m/s} \approx 300\,000\text{ km/s}$). Lorsque la lumière traverse la matière, ses champs oscillants (principalement le champ électrique) interagissent avec cette dernière. Il en résulte un freinage ($v < c$).

L'indice de réfraction (absolu) d'une substance est défini comme le rapport c/v .

$$\text{Indice de réfraction} = n = \frac{\text{vitesse de la lumière dans le vide}}{\text{vitesse de la lumière dans la substance}} = \frac{c}{v} > 1$$

L'indice de réfraction d'une substance dépend, entre autres, de la longueur d'onde de l'onde électromagnétique et de la température (il diminue avec la température).

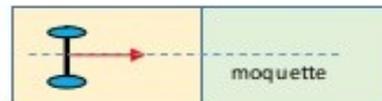
n(eau)	Longueur d'onde de la lumière			
	T (°C)	226,5 nm (UV)	589,0 nm (jaune)	1013,98 nm (IR)
0		1,39450	1,33432	1,32612
20		1,39336	1,33336	1,32524
50		1,38854	1,32937	1,32145
100		1,37547	1,31861	1,31114

Réfraction de la lumière :

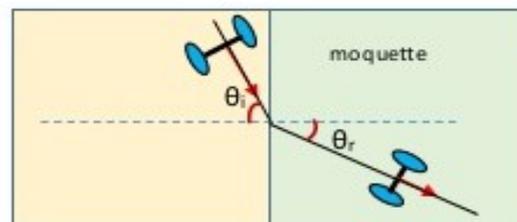
C'est la modification de la direction de propagation d'une onde électromagnétique lors du passage d'un milieu dans un autre.

Une analogie mécanique est possible en considérant un essieu ou un haltère qui quitte une surface de roulement A (avec une vitesse initiale, V_A) pour pénétrer dans un domaine B qui freine le système ($V_B < V_A$). On peut imaginer, par exemple, le passage d'un carrelage vers une moquette (mise au niveau du carrelage).

Si l'essieu aborde la moquette avec une trajectoire perpendiculaire à la ligne de séparation des milieux, aucune modification de trajectoire n'est observée.



Par contre, si l'essieu aborde la ligne de séparation avec un angle d'incidence (θ_i) compté à partir de la normale à la ligne de séparation des milieux, une des roues sera freinée avant l'autre et il en résultera une modification de trajectoire par pivotement de l'essieu (θ_r = angle de réfraction).



En passant d'un milieu rapide vers un milieu plus lent ($V_A > V_B$), l'essieu se rapproche de la normale ($\theta_i > \theta_r$) ; il s'en écarte si $V_A < V_B$. De même, un rayonnement électromagnétique se rapproche de la normale en passant d'un milieu à faible indice de réfraction (interactions faibles) vers un milieu à indice plus élevé (interactions élevées) et s'en écarte dans le cas contraire.

Loi de Descartes :

$$n_A \cdot \sin \theta_A = n_B \cdot \sin \theta_B$$

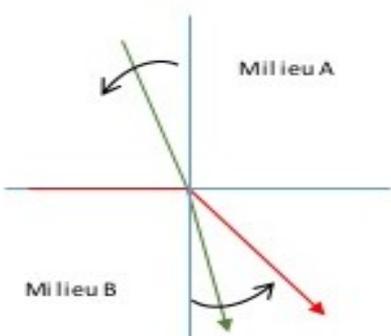
Pour une onde initialement dans le milieu A : $\theta_A = \theta_i$ et $\theta_B = \theta_r$

- Si $n_B > n_A \rightarrow \sin(\theta_B) < \sin(\theta_A) \rightarrow \theta_B = \theta_r < \theta_A = \theta_i$ (se rapproche de la normale)
- Si $n_B < n_A \rightarrow \sin(\theta_B) > \sin(\theta_A) \rightarrow \theta_B = \theta_r > \theta_A = \theta_i$ (s'éloigne de la normale)

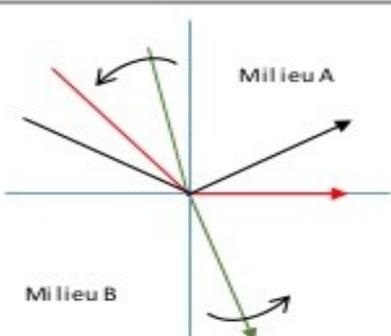
On définit des indices de réfraction relatifs :

$$\frac{\sin \theta_A}{\sin \theta_B} = \frac{n_B}{n_A} = n_{B,A} \quad (\text{indice de réfraction de B par rapport à A})$$

Angle limite : concerne le passage d'un milieu rapide vers un milieu lent ($n_A < n_B$) pour lequel l'angle de réfraction se rapproche de la normale par rapport à l'angle d'incidence

$n_A = 1 \quad n_B = 1,5$		$\theta_r = \arcsin \left[\left(\frac{n_A}{n_B} \right) \cdot \sin \theta_i \right]$	
θ_i	θ_r	 <p>Pendant que l'angle d'incidence progresse de 0° vers 90°, l'angle de réfraction suit avec un retard car B est le milieu le plus lent.</p> <p>Ainsi, pour $\theta_i = 90^\circ$ qui est le maximum possible, l'angle θ_r reste inférieur à 90° (ici $41,81^\circ$) qui est l'<u>angle limite</u> pour cette combinaison (n_A et n_B) d'indices de réfraction.</p>	
0	0,00		
10	6,65		
20	13,18		
30	19,47		
40	25,37		
50	30,71		
60	35,26		
70	38,79		
80	41,04		
90	41,81		

Angle de réflexion totale : concerne le passage d'un milieu lent vers un milieu rapide ($n_A > n_B$) pour lequel l'angle de réfraction s'écarte de la normale par rapport à l'angle d'incidence

$n_A = 1,5 \quad n_B = 1$		$\theta_r = \arcsin \left[\left(\frac{n_A}{n_B} \right) \cdot \sin \theta_i \right]$	
θ_i	θ_r	 <p>Pendant que l'angle d'incidence progresse de 0° vers 90°, l'angle de réfraction prend une avance car B est le milieu le plus rapide.</p> <p>Ainsi, pour $\theta_i = 41,81^\circ$, l'angle θ_r devient égal à 90° qui est le maximum possible. Au-delà, le rayon incident est réfléchi et $\theta_i = 41,81^\circ$ est l'<u>angle de réflexion totale</u> pour cette combinaison (n_A et n_B) d'indices de réfraction.</p>	
0	0,00		
10	15,10		
20	30,87		
30	48,59		
40	74,62		
50	####		
60	####		
70	####		
80	####		
90	####		

Définitions complémentaires

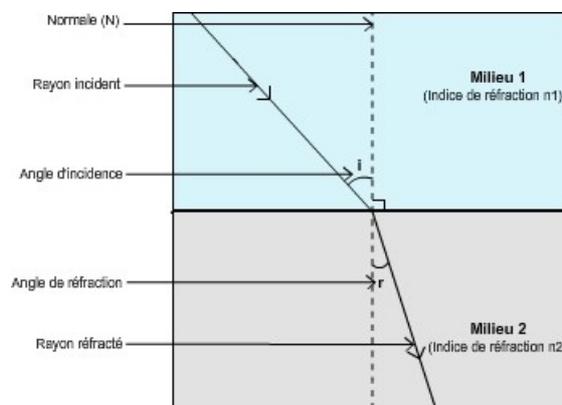
Rayon incident : il s'agit du rayon de lumière se propageant dans le premier milieu

Rayon réfracté : il s'agit du rayon de lumière se propageant dans le deuxième milieu et qui a donc subi une réfraction

Normale : c'est la droite perpendiculaire à la surface de séparation des deux milieux.

Angle d'incidence i : angle entre le rayon incident et la normale.

Angle de réfraction r : angle entre le rayon réfracté et la normale.



La déviation subit par le rayon lumineux, en changeant de milieu, dépend de la différence d'indice de réfraction entre les deux milieux : plus cette différence est grande et plus la déviation est importante.

Par ailleurs si $n_1 < n_2$ (on dit que le milieu 2 est plus réfringent que le milieu 1) alors le rayon réfracté se rapproche de la normale, tandis que si $n_1 > n_2$ (le milieu 1 est plus réfringent que le milieu 2) il s'en rapproche.