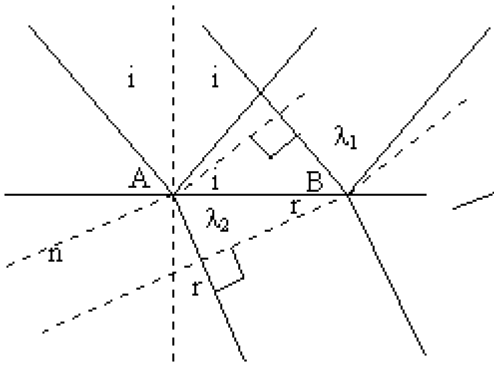
Animation

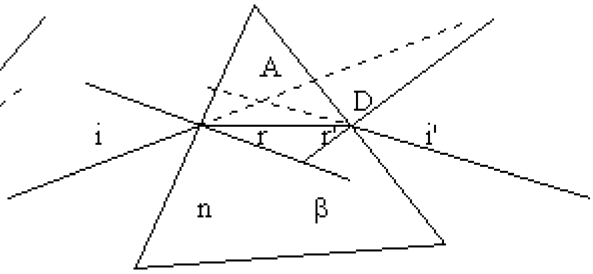
La réfraction

Animation

par Gilbert Gastebois

1. Schémas





Les indices n_1 et n_2 des deux milieux 1 et 2 sont égaux au rapport de la vitesse de la lumière dans le vide et de la vitesse de la lumière dans le milieu.
$n_1 = c/c_1$ et $n_2 = c/c_2$. On pose $n = n_2/n_1$

2. Loi de Snell-Descartes

$\lambda_1 = AB \sin i$, donc $AB = \lambda_1/\sin i$
$\lambda_2 = AB \sin r$, donc $AB = \lambda_2/\sin r$
donc $\lambda_1/\sin i = \lambda_2/\sin r$. $\lambda_1 = c_1/f$, $\lambda_2 = c_2/f$ (c_1 et c_2 sont les vitesses de la lumières dans chaque milieu et f est la fréquence de la lumière)
on obtient : $c_1/\sin i = c_2/\sin r$ ou $\sin i / c_1 = \sin r / c_2$.
On a $n_1 = c/c_1$ et $n_2 = c/c_2$, on a donc $n_1 \sin i = n_2 \sin r$

$n_1 \sin i = n_2 \sin r$

3. Le prisme

3.1 angle de sortie du rayon

On a $n_1 = 1$ et $n_2 = n$ (n est l'indice du verre constituant le prisme)
donc $\sin i = n \sin r$
$\beta = 360 - 2x90 - A = 180 - A$
$r + r' + \beta = 180 \Rightarrow r + r' = 180 - \beta = A$
$r' = A - r$
$\sin i' = n \sin r'$

3.2 angle de déviation D

$D = i - r + (i' - r') = i + i' - A$

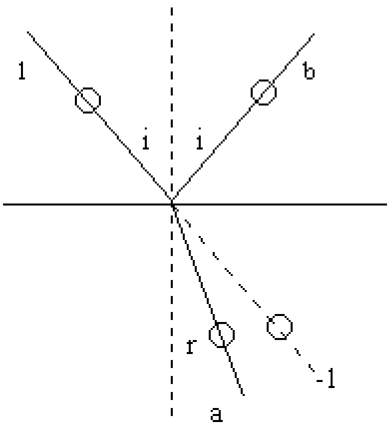
$D = i + i' - A$

D passe par un minimum D_m quand $r = r'$ donc quand $i = i'$
$r = r' = A/2 \Rightarrow \sin i_m = \sin i'_m = n \sin A/2$

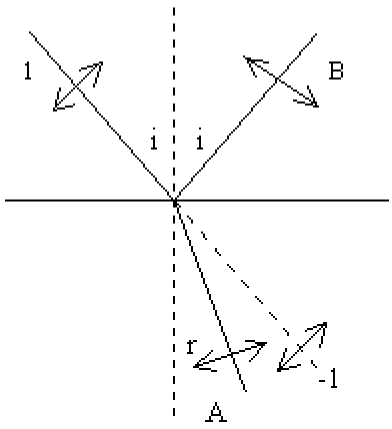
$D = D_m$ si $i_m = i'_m = \arcsin(n \sin A/2)$

$D_m = 2 i_m - A$

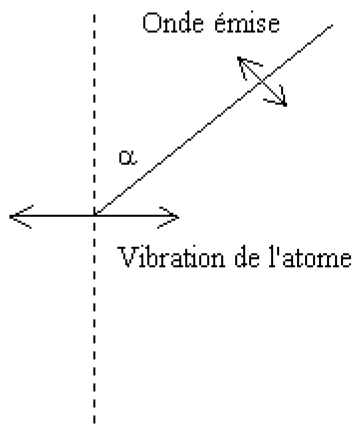
4. Intensités réfléchies (Cf : R.Feynman)



Polarisation perpendiculaire



Polarisation parallèle



La lumière réfractée fait vibrer les atomes du "verre", ces vibrations créent des ondes qui interfèrent. Le résultat de ces interférences est l'onde réfléchie et une onde en opposition de phase avec l'onde incidente qui se poursuit dans le verre et qui donne une amplitude totale nulle dans cette direction (ligne en pointillés).
Pour la polarisation perpendiculaire, l'onde émise par la vibration d'un atome est proportionnelle à l'amplitude de cette vibration .
Pour la polarisation parallèle, l'onde émise par la vibration d'un atome est proportionnelle à l'amplitude de cette vibration et au cosinus de l'angle α entre la perpendiculaire à la vibration et la direction de l'onde émise.

Production de l'onde réfléchie : $b = k\, a$ et $B = k\, A \cos(i + r)$ donc $b/a = B/(A \cos(i + r))$
Production de l'onde en opposition : $-1 = k'\, a$ et $-1 = k'\, A \cos(i - r)$ donc $a = A \cos(i - r)$
Donc $B/b = A \cos(i + r)/a = \cos(i + r)/\cos(i - r)$
Conservation de l'énergie : $1 = a^2 + b^2$ et $1 = A^2 + B^2$
$(1 - B^2)/(1 - b^2) = A^2/a^2 = 1/\cos^2(i - r)$
$(1-b^2\cos^2(i + r)/\cos^2(i - r))/(1 - b^2) = 1/\cos^2(i - r)$
On résout cette équation en b^2, on obtient :
$b^2 = \sin^2(i - r)/\sin^2(i + r)$
et $B^2 = b^2 \cos^2(i + r)/^2\cos(i - r) = \tan^2(i - r)/\tan^2(i + r)$

b^2 est le rapport des intensités réfléchies et incidentes pour la composante perpendiculaire du champ, donc
la composante perpendiculaire au plan d'incidence :
$I_r/I = \sin^2(i-r)/\sin^2(i+r)$ (composante perpendiculaire au plan d'incidence)

B^2 est le rapport des intensités réfléchies et incidentes pour la composante parallèle du champ, donc
la composante parallèle au plan d'incidence :
$I_r/I = \tan^2(i-r)/\tan^2(i+r)$ (composante parallèle au plan d'incidence)

Cas particulier de l'incidence perpendiculaire : $i = r = 0$
i et r petits, $\sin i = i$, $\tan i = i$, $\sin r = r$, $\tan r = r$ et $i = n\, r$
$I_r/I = (n\, r - r)^2/(nr + r)^2$
$I_r/I = (n-1)^2/(n+1)^2$

Angle de Brewster

Si $i + r = 90°$, la composante parallèle $I_r = 0$, cela correspond à l'angle de Brewster i_B
$\sin i_B = n \sin (90-i_B) = n \cos i_B$, donc $\tan i_B = n$

$i_B = \arctan n$

4. La réflexion totale

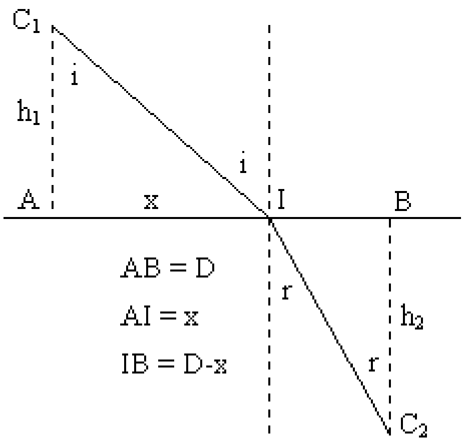
Si $n_2 > n_1$, la lumière est toujours transmise (réfractée) du milieu 1 vers le milieu 2, mais si $n_2 < n_1$, cela dépend de l'angle d'incidence i. En effet, on a $\sin r = n_1/n_2 \sin i > \sin i$, or $\sin r <= 1$ comme tout bon sinus, donc il ne peut y avoir de réfraction que si $n_1/n_2 \sin i <= 1 \Rightarrow \sin i <= n_2/n_1$, il existe donc un angle limite $i_L = \text{arcsinus}(n_2/n_1)$, au delà duquel il n'y a plus de transmission de la lumière, elle est entièrement réfléchie à la surface de séparation. C'est le phénomène de réflexion totale.

Si $i > \text{arcsinus}(n_2/n_1)$, on a réflexion totale sur la surface de séparation.

__Remarque__ : La théorie électromagnétique de la réfraction de la lumière à partir des équations de Maxwell, met en évidence l'existence d'une onde évanescente à l'intérieur du milieu 2. Cette onde décroît exponentiellement avec la distance à la surface de séparation et disparaît sur une distance de quelques longueurs d'onde. Elle est donc très difficile à visualiser avec de la lumière visible ($\lambda \sim 0{,}5\ \mu m$). C'est en revanche très facile avec des ondes radio se réfractant dans un prisme de paraffine.

5. Principe de Fermat

Fermat affirme que le temps de parcours de la lumière entre deux points est minimal (Pour être tout à fait précis, inférieur à tout parcours voisin). Ce principe permet de retrouver la loi de Snell-Descartes.



Le temps de parcours entre C_1 et C_2, $t = C_1I / c_1 + C_2I / c_2$

$C_1I = (h_1^2 + x^2)^{1/2}$ et $C_2I = (h_1^2 + (D-x)^2)^{1/2}$

$t = (h_1^2 + x^2)^{1/2} / c_1 + (h_1^2 + (D-x)^2)^{1/2} / c_2$

t est minimum si $dt/dx = 0$

$dt/dx = x/(c_1 (h_1^2 + x^2)^{1/2}) - (D - x)/(c_2 (h_1^2 + (D-x)^2)^{1/2}) = 0$

mais $x/(h_1^2 + x^2)^{1/2} = \sin i$ et $(D - x)/(h_1^2 + (D-x)^2)^{1/2} = \sin r$

donc $\sin i / c_1 = \sin r / c_2$, ce qui est une formulation de la loi de Snell-Descartes.

$c/c_1 = n_1$ et $c/ c_2 = n_2$, donc

$$\mathbf{n_1 \sin i = n_2 \sin r}$$