

# Les lois de Snell Descartes

## 1. L'indice optique

La lumière peut se propager dans le vide et dans des milieux autres que le vide.

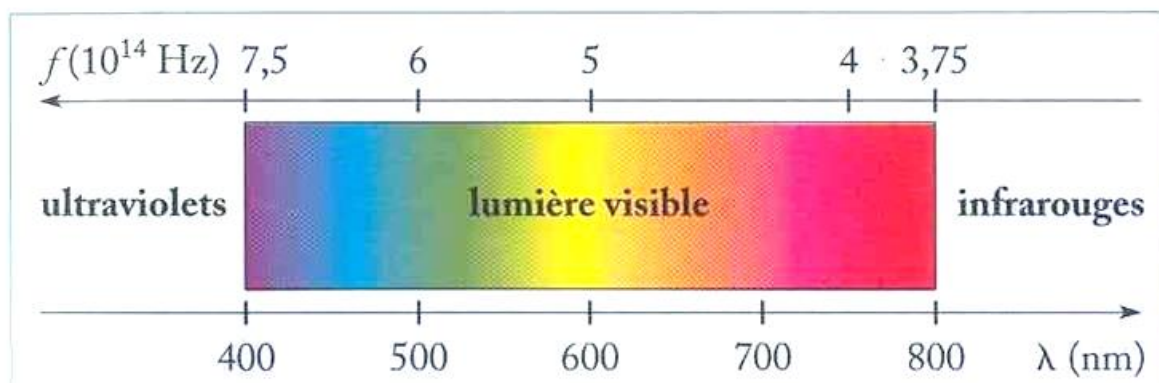
### a. Les différents milieux :

Un milieu est dit :

- **homogène** lorsque sa composition (et donc son indice) est la même en tous ses points; il est dit **inhomogène** dans le cas contraire.
- **isotrope** lorsque ses propriétés sont les mêmes dans toutes les directions; dans le cas contraire, il est **anisotrope**.
- **transparent** s'il laisse passer la lumière sans atténuation (l'eau, le verre,...); il est **absorbant** s'il ne laisse passer qu'une partie de la lumière (verres fumés, ...). En réalité, tous les milieux matériels sont plus ou moins absorbants. A la limite, il est **opaque** s'il ne laisse pas passer la lumière (pratiquement, tous les métaux le sont).

### b. Rappels sur les ondes lumineuses

On rappelle que **la lumière est une onde électromagnétique** de fréquence  $f$ , de longueur d'onde  $\lambda$ , de période  $T$  (avec  $T=1/f$ ). Dans le vide, la lumière se propage à la vitesse  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



Ondes lumineuses visibles

La fréquence  $f$  et la longueur d'onde de l'onde lumineuse dans le vide  $\lambda_0$  sont reliées par l'expression  $c = f \cdot \lambda_0$ . Les longueurs d'onde dans le vide, comprises entre 400nm et 800nm définissent le domaine du visible.

Lorsque la lumière se propage dans un milieu autre que le vide, sa fréquence (et donc la couleur perçue) est inchangée mais sa vitesse  $v$  et par conséquent sa longueur d'onde  $\lambda$  dépendent du nouveau milieu. Ces deux grandeurs sont reliées par la relation  $v = f \cdot \lambda$

### c. Définition

L'**indice de réfraction** d'une matière, est un nombre qui caractérise le pouvoir qu'a cette matière, à ralentir et à dévier la lumière. Il correspond au nombre de fois que la vitesse de la lumière est plus lente dans ce milieu que dans le vide. Il est notée **n** et est défini par :

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

n : indice de réfraction du milieu

c : vitesse de la lumière dans le vide ( $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ )

v : vitesse de la lumière dans le milieu (en m/s)

La valeur de l'indice d'un milieu dépend de la température, de l'humidité et de la pression ainsi que de la longueur d'onde du rayon lumineux utilisé.

On dira qu'un milieu est d'autant plus **réfringent** que son indice de réfraction est important.

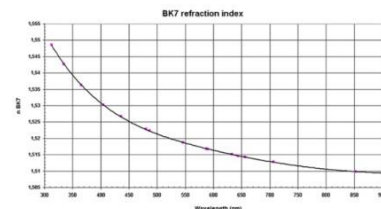
### d. Conséquences

- L'indice de réfraction n'a pas d'unité car c'est le rapport de deux vitesses.
- Plus la lumière est ralentie, plus la matière a un indice de réfraction élevé.
- Par définition, le vide a un indice **1** car  $c / c = 1$ . L'air a un indice autour de 1.0008 mais on le considère souvent égal à 1.
- Les milieux transparents, homogènes, isotropes ont un indice supérieur ou égal à 1.
- Comme  $n > 1$ , dans un milieu matériel, on aura toujours  $\lambda_{\text{milieu}} < \lambda_{\text{vide}}$ . Un milieu transparent comprime donc les longueurs d'onde. Pour éviter la profusion des longueurs d'ondes, on choisit la longueur d'onde dans le vide pour définir une onde lumineuse.

### e. Exemples

Milieu	Indice de réfraction	Vitesse de la lumière (km/s)
Air	1	299710,636
Eau	1,33	225000
Verre	1,5	200000
Cristal	1,6	188000
diamant	2,42	124000

*Indices de différents milieux*



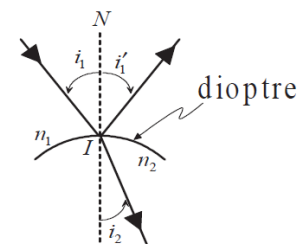
*Evolution de l'indice d'un verre en fonction de  $\lambda$  (loi de Cauchy)*

## 2. Définitions

On appellera **dioptre**, une surface de séparation entre deux milieux homogènes et transparents d'indices différents.

Le point de rencontre d'un faisceau incident et de la surface de séparation est appelé **point d'incidence** (noté *I*).

La droite perpendiculaire à la surface de séparation au point d'incidence est appelée **normale** (notée *N*).



L'**angle d'incidence** est l'angle formé par le faisceau incident avec la normale.

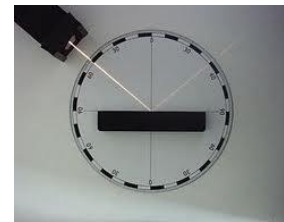
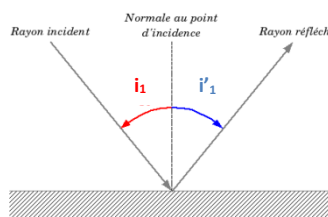
Le **plan d'incidence** est le plan contenant le rayon incident et la normale au dioptre.

Le changement de direction d'un rayon lumineux au niveau d'un dioptre est décrit par **les lois de Snell-Descartes**.

Il existe deux phénomènes très importants et qui sont indispensables à la compréhension de la propagation de la lumière dans un système optique:

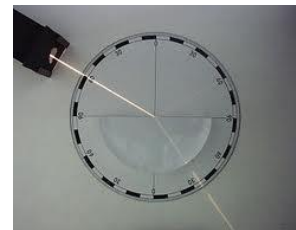
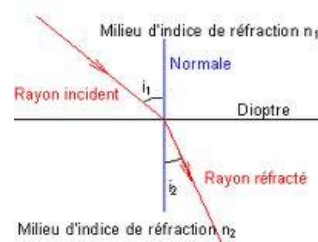
### Le phénomène de réflexion

Il a lieu lorsqu'un rayon incident arrivant sur un dioptre avec un certain angle appelé angle d'incidence  $i_1$  (formé entre la normale au dioptre et le rayon incident) est réfléchi en direction du milieu d'où il vient.



### Le phénomène de réfraction

Il correspond à la déviation du rayon incident au passage du dioptre. Le rayon poursuit donc sa course dans le milieu situé de l'autre côté du dioptre. Après avoir passé le dioptre, le rayon a été dévié et forme un angle de réfraction  $i_2$  avec la normale au dioptre.



## 3. Les lois de Snell-Descartes

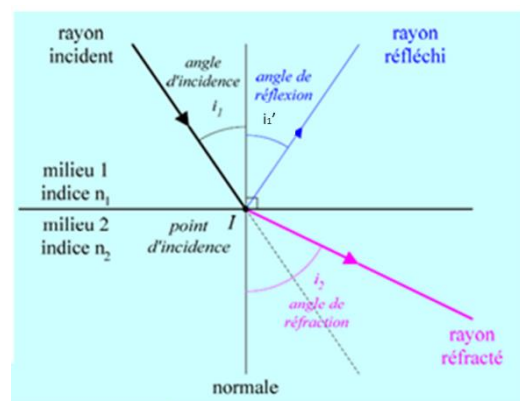
Soit un rayon incident arrivant sur une interface entre deux milieux en un point I.

**Les angles des rayons sont TOUJOURS repérés par rapport à LA NORMALE à l'interface en I.**

**L'angle d'incidence  $i_1$**  est l'angle formé par le rayon lumineux avec la normale.

**L'angle de réfraction  $i_2$**  est l'angle formé par le faisceau lumineux réfracté (après avoir traversé la surface de séparation) avec la normale.

**L'angle de réflexion  $i_1'$**  est l'angle formé par le faisceau lumineux réfléchi (après avoir été réfléchi sur la surface de séparation) avec la normale.



**Première loi** : le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont dans le plan d'incidence.

**Deuxième loi (loi de la réflexion)** : l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence (en valeur absolue) :

$$i_1 = i_1'$$

**Troisième loi (loi de la réfraction)** :  $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

**Remarque n 1** : Si  $n_1 = n_2$ , il n'y a pas de réflexion, même si les milieux sont de natures différentes. Le faisceau réfracté n'est pas dévié.

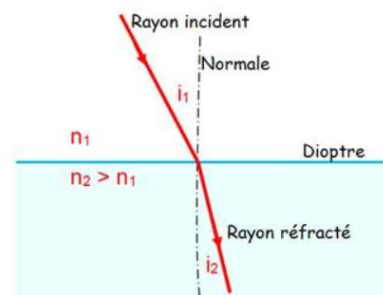
**Remarque n 2 : Approximation paraxiale** : Si le rayon incident est très peu incliné par rapport à la normale,  $\sin i_1 \sim i_1$  (exprimé en radians) et donc,  $n_1 i_1 \sim n_2 i_2$

## 4. Conséquences de la loi sur la réfraction

### a. Passage de la lumière dans un milieu plus réfringent : $n_2 > n_1$

Lorsque la lumière passe d'un milieu moins réfringent à un milieu plus réfringent ( $n_1 < n_2$ ), le rayon réfracté se rapproche de la normale car :

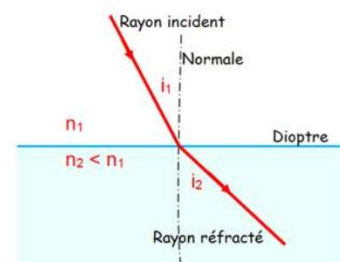
$$n_1 < n_2 \rightarrow \sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1 < \sin i_1 \rightarrow i_2 < i_1$$



### b. Passage de la lumière dans un milieu moins réfringent : $n_2 < n_1$

Lorsque la lumière passe d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent ( $n_1 > n_2$ ), le rayon réfracté s'éloigne de la normale car :

$$n_1 > n_2 \rightarrow \sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1 > \sin i_1 \rightarrow i_2 > i_1$$



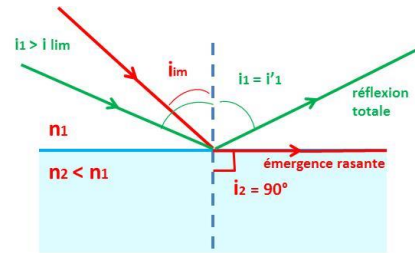
### c. Angle limite

Lorsque la lumière passe dans un milieu moins réfringent ( $n_1 > n_2$ ), le rayon lumineux s'éloigne de la normale et il peut atteindre l'interface (l'horizontale) : l'angle du rayon réfracté est alors de  $90^\circ$ . Cela se produit pour un angle d'incidence  $i_{lim}$  déterminé à partir de la loi de la réfraction :

$$n_1 \sin i_{lim} = n_2 \sin(90^\circ) = n_2$$

D'où :  $\sin i_{lim} = \frac{n_2}{n_1}$ , et donc

$$i_{lim} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

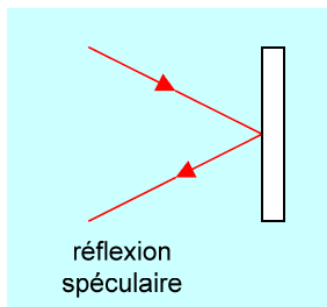


$i_{lim}$  est l'**angle d'incidence limite** au-delà duquel il ne peut pas exister de rayon réfracté qui satisfasse aux lois de Snell-Descartes.

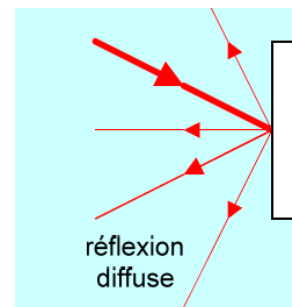
Lorsque la lumière incidente est dans le milieu le plus réfringent, si l'angle d'incidence est supérieur à l'**angle limite** ( $i_1 > i_{lim}$ ) :

- le phénomène de réfraction est impossible
- toute la lumière est réfléchiée : on parle de phénomène de réflexion totale

## 5. Réflexion et diffusion



Si la surface est plane ( $\text{rugosité} < \lambda/4$ ) : la lumière est réfléchiée dans la direction donnée par la loi de la réflexion (miroir, vitre)



Si la surface est rugueuse : la lumière est réfléchiée (donc diffusée) dans toutes les directions (verre dépoli, écran de projection)

*C. Le Luyet 2017*