

# Cours d'Optique Géométrique

Filières\_SMPC\_S<sub>2</sub>

**Y. BAHOU**

# Chapitre I

*Principes fondamentaux de l'optique géométrique*

# I-Introduction

## Qu'est ce que l'optique ?

L'optique est une branche de la physique qui s'intéresse à l'étude des phénomènes lumineux.

## Domaine très large :

- Perception du monde qui nous entoure (formation des images).
- Instruments d'optiques (jumelles, télescope, microscope,...).
- Propagation d'information via lumière (fibre optique).
- Sources lumineuses (laser, lampe sodium,...).
- Détecteurs (caméra IR, photodétecteur, matériaux SC).

## Cours : Optique géométrique.

- Branche ancienne de l'optique très utilisée en optique instrumentale.
- Formation des images à travers un système optique.
- Etude d'un système optique et d'instrumentations d'optique.

## 1-Corps lumineux :

Ce sont des objets qui mettent un rayonnement. On les appelle sources de lumière. Nous citons comme exemples : le soleil, les étoiles, lampes etc....

## 2-Milieus transparents :

Espaces situés entre un objet lumineux et un récepteur "œil " et capables de transporter simultanément des rayons lumineux issus d'une même source. Un milieu est généralement caractérisé par un indice de réfraction  $n$  (exemple : eau, air, verre, éthanol etc.).

## 3-Rayon lumineux :

**Principe :** On appelle rayon lumineux, toute courbe suivant laquelle se propage la lumière.

Deux rayons lumineux se rencontrant, n'interagissent pas (un rayon lumineux ne peut pas être dévié par un autre rayon lumineux).

## II-Nature de la lumière :

**Lumière** : transport d'énergie sous forme d'onde électromagnétique dans le vide ou dans un milieu transparent.

La lumière présente, selon plusieurs expériences et théories, un double aspect : onde/corpuscule.

Un aspect ondulatoire : mise en évidence par les expériences d'interférence et de diffraction.

Elle présente aussi une **nature corpusculaire** mise en évidence par les expériences sur l'effet photoélectrique, émission, absorption et les photons. La matière a montré que l'énergie lumineuse est quantifiée (Photons).

**Lumière = ondes et photons**



## 1-Onde électromagnétique :

Onde plane : constitué par les champs électriques  $\vec{E}$  et magnétique  $\vec{B}$  identiques en tout points d'un plan  $x=cte$  (perpendiculaire au plan de propagation), appelé plan d'onde. Dans ce cas,  $E$  ne dépend que de  $x$  et de  $t$ , elle peut être représentée, en un point  $M$  de l'espace, à un instant donné par :

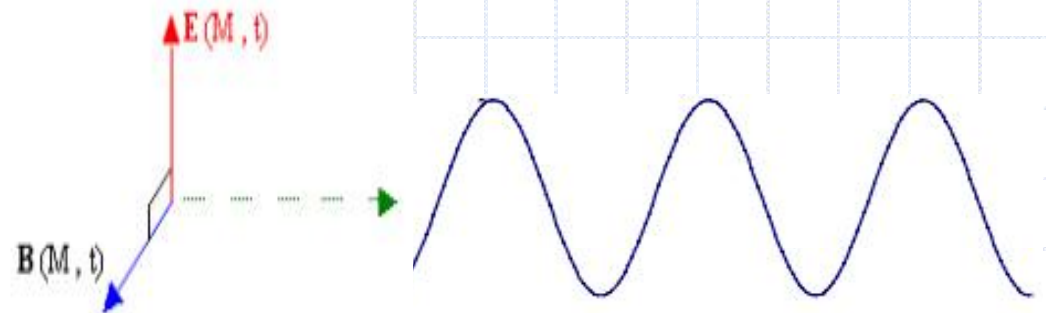
$$\vec{E}(M, t) = E_0(M) \cos(\check{S}t - kr)$$

$$\vec{B}(M, t) = B_0(M) \cos(\check{S}t - kr)$$

$k$  : vecteur d'onde

$\check{S}$  : pulsation

$r$  : vecteur position  $OM$

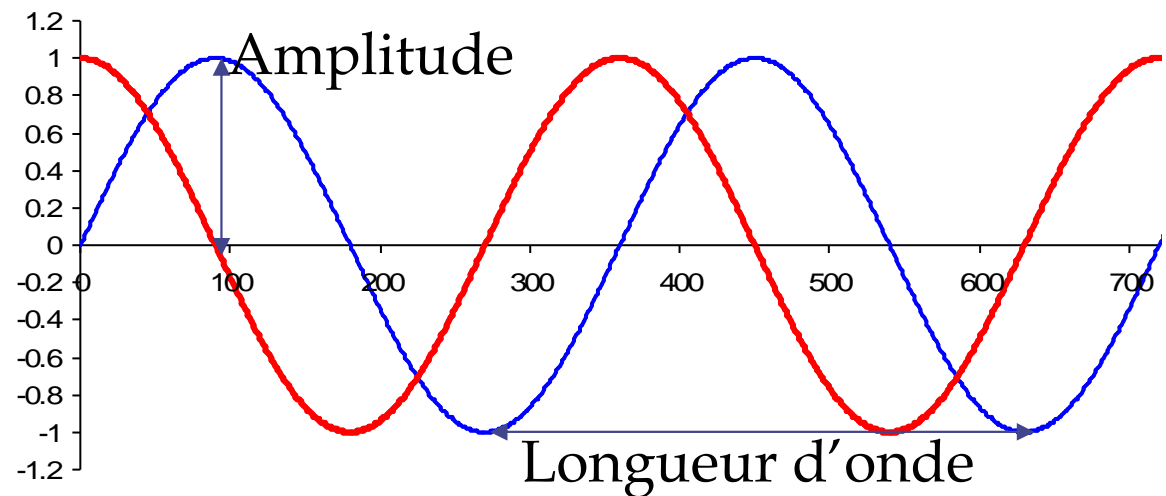


On appelle lumière monochromatique, une superposition d'un ensemble d'ondes 'train d'ondes' de même fréquence, c'est-à-dire photons de même  $\lambda$ .

## 1-1-Aspect ondulatoire :

La lumière peut être représentée par une fonction d'onde en un point M et à l'instant t de la forme :

$$s = s_0 \cos \left[ 2f \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$



$T$  : est la période de l'onde et  $\lambda$  : sa longueur d'onde.

$T$  est une caractéristique **intrinsèque** de l'onde

$\lambda$  dépend du milieu dans lequel l'onde se propage

## 1-2 Longueur d'onde

**Définition** : une onde est un phénomène physique qui se propage et se reproduit à l'identique un peu plus tard dans le temps et dans l'espace.

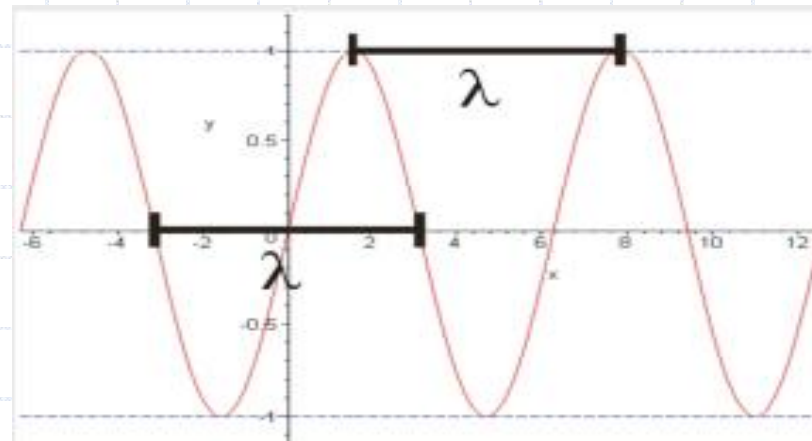
la longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde au cours d'une période. Si on appelle  $C$  la célérité de l'onde et  $T$  sa période temporelle,

on a :  $\lambda = CT$

$$\lambda = \frac{2f}{k}$$

$$T = \frac{2f}{\check{S}}$$

$$k = \frac{\check{S}}{C}$$



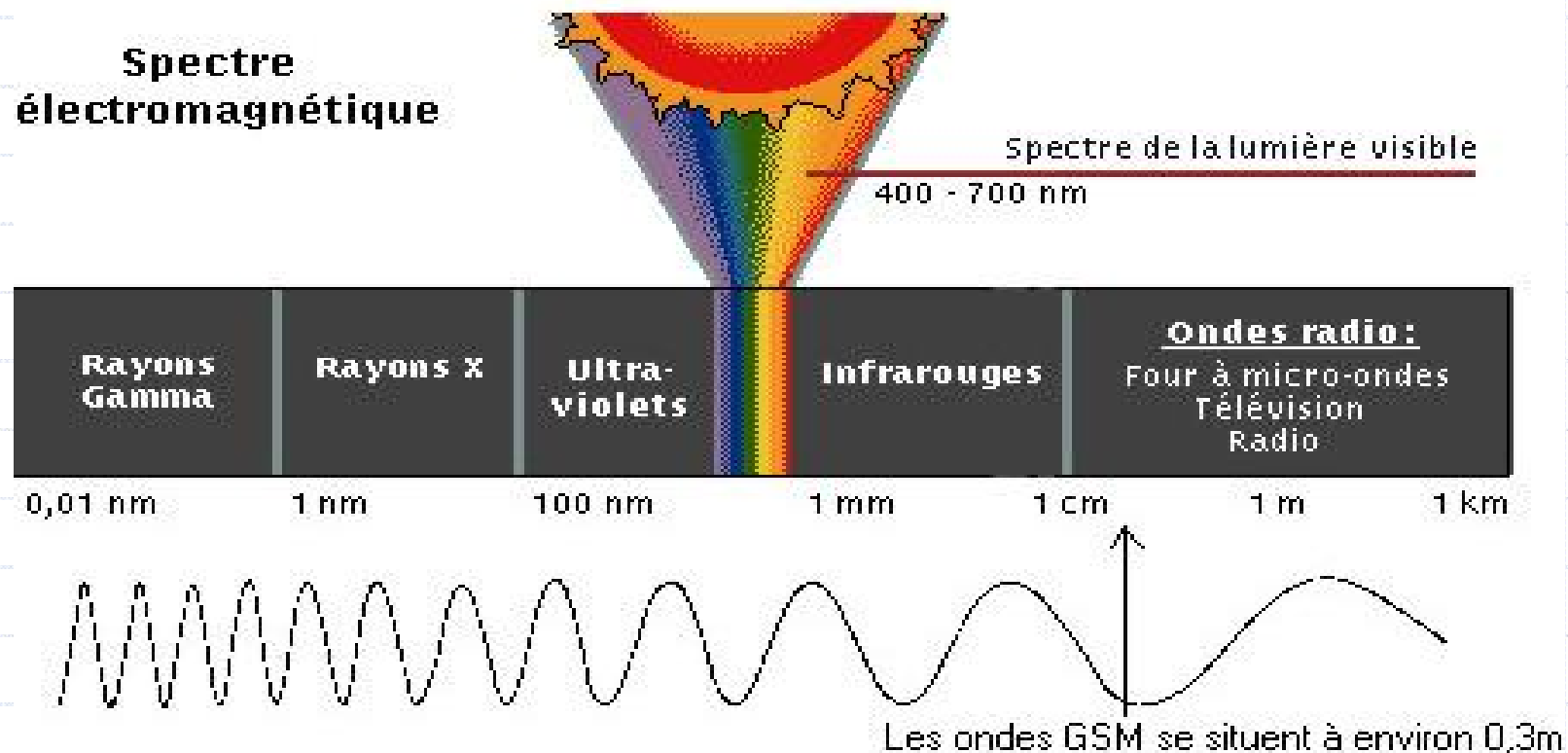
$\lambda$  : représente, à un instant donné, la distance séparant deux plans d'onde.

$T$  : représente la durée nécessaire pour qu'un plan d'onde remplace le précédent.

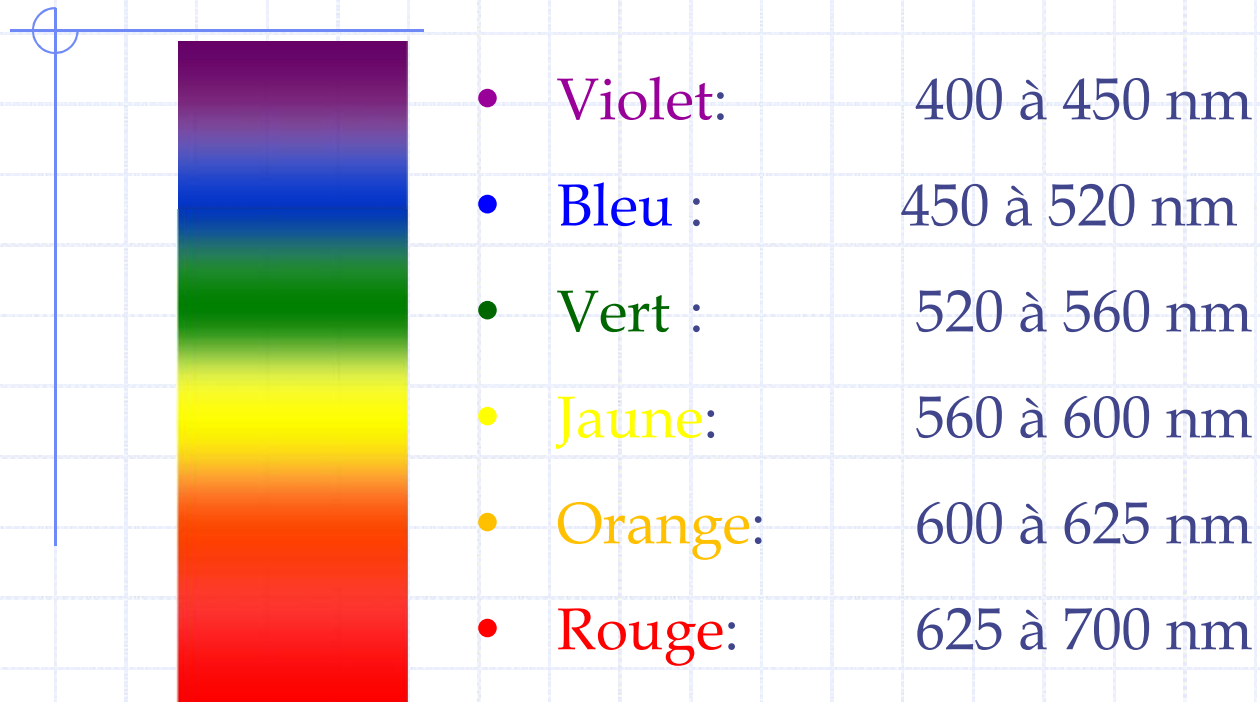


La lumière « visible » correspond à des ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde est comprise entre 400 nm et 780 nm.

### Spectre électromagnétique



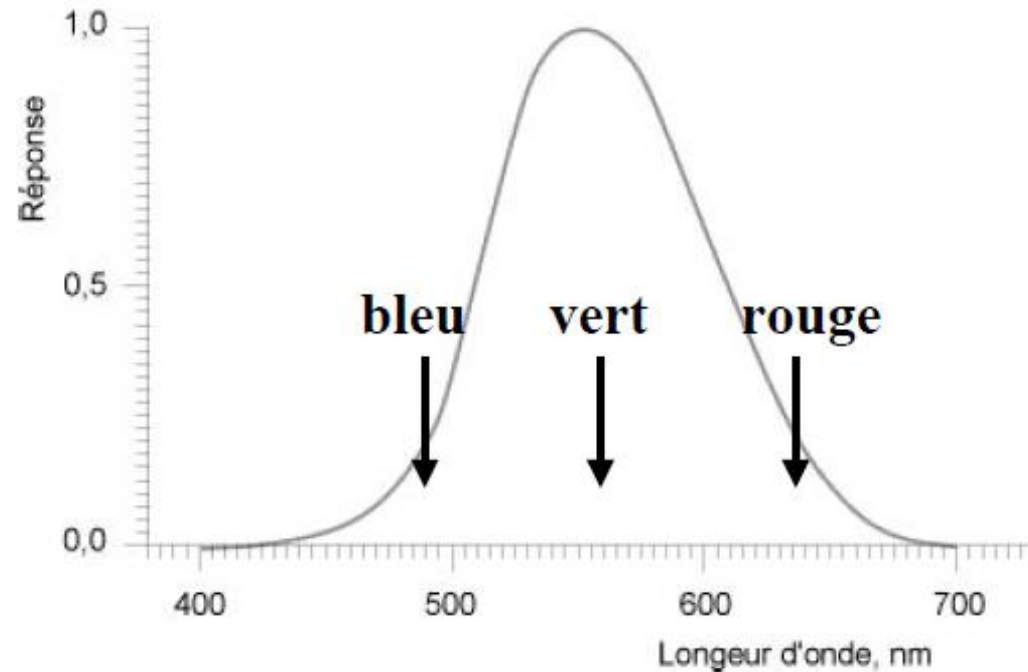
## La longueur d'onde : Spectre du visible



### 1-3- Aspect corpusculaire :

Pour une radiation de fréquence  $\nu$  cette énergie est un multiple de la quantité élémentaire  $E = h \nu$ , appelée photon, avec  $h$  est la constante de Planck  $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ .

## Visible = spectre de l'œil



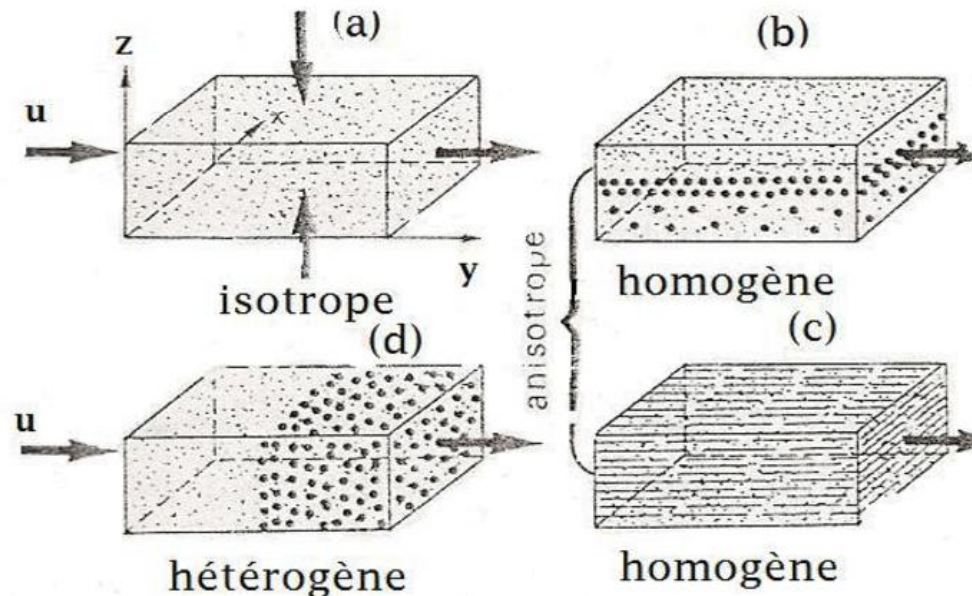
- L'œil est sensible aux radiations lumineuses dont la longueur d'onde est comprise entre  $0.380 \mu\text{m}$  et  $0.780 \mu\text{m}$ .
- L'œil est un photodétecteur ayant une bande passante particulière.

### III-Propagation de la lumière –Principe de Fermat :

#### Définitions:

Un milieu est dit *homogène* si il a la même composition en tous ses points. Les rayons se propagent de manière indépendante dans une même région de l'espace.

Un milieu est dit *isotrope* si ses propriétés sont les mêmes dans toutes les directions.



**Principe :** Dans un milieu homogène et isotrope la lumière se propage en ligne droite.

L'onde lumineuse se propage dans une direction appelée rayon lumineux 

### 1-Indice de réfraction $n$ :

Défini comme le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide sur sa vitesse dans le milieu matériel. Caractérisant un milieu transparent de la lumière, l'indice de réfraction  $n$  se définit du fait d'une interaction entre la matière et la lumière la traversant par :

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

La réfringence d'un milieu est une caractéristique liée à la valeur de l'indice  $n$  de celui-ci : plus l'indice est élevé plus le milieu est réfringent.

$C$  : représente la célérité de la lumière vaut  $3.10^8 m/s$

$v$  : la vitesse de propagation de l'onde lumineuse dans ce milieu.



## Exemples

eau 1.333

air 1.00293

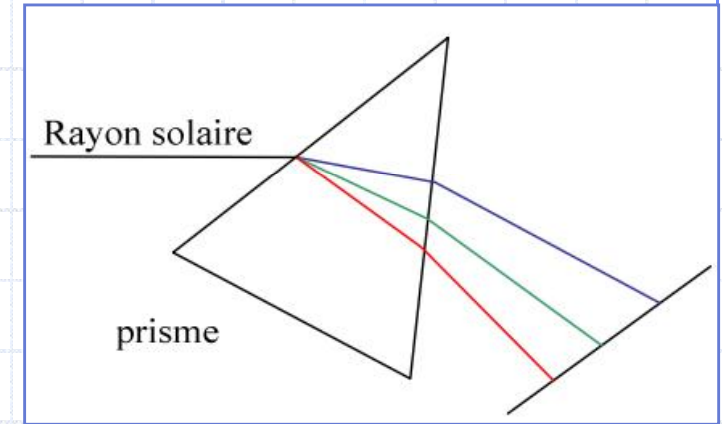
damant 2.417

NaCl 1.544

Verre 1.5

## 2-Dispersion et Absorption :

La longueur d'onde d'un milieu matériel ( $n=n(\lambda)$ ) dépend de l'indice de réfraction selon la Relation de Cauchy : 
$$n = A + \frac{B}{\lambda^2}$$
*A et B sont des constantes.*



Ceci explique les phénomènes de dispersion de la lumière par un prisme (spectroscopes) ou par une goutte d'eau (arc en ciel).

Lorsqu'une onde lumineuse se propage dans un milieu matériel, son intensité décroît souvent très rapidement (sauf dans le cas de milieux transparents). C'est le phénomène d'absorption

### 3- Principe de Fermat:

Il représente un principe fondamental de l'optique géométrique et s'énonce comme suit : la lumière se propage d'un point à l'autre de façon à minimiser son temps de trajet.

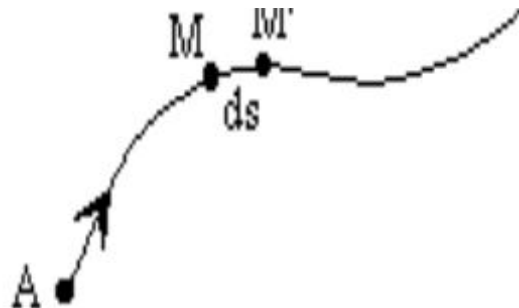
### 4- chemin optique :

On définit le chemin optique entre deux points  $M_1$  et  $M_2$ , appartenant à deux surfaces d'ondes par :

$$L = (M_1 M_2) = \int_{M_1}^{M_2} n \cdot dl$$

Si le milieu est homogène,  $n$  est constant et  $L = n \cdot M_1 M_2$

Soit (AB) un rayon lumineux, la lumière atteignant le point A à la date  $t_A$  et le point B à la date  $t_B$ .



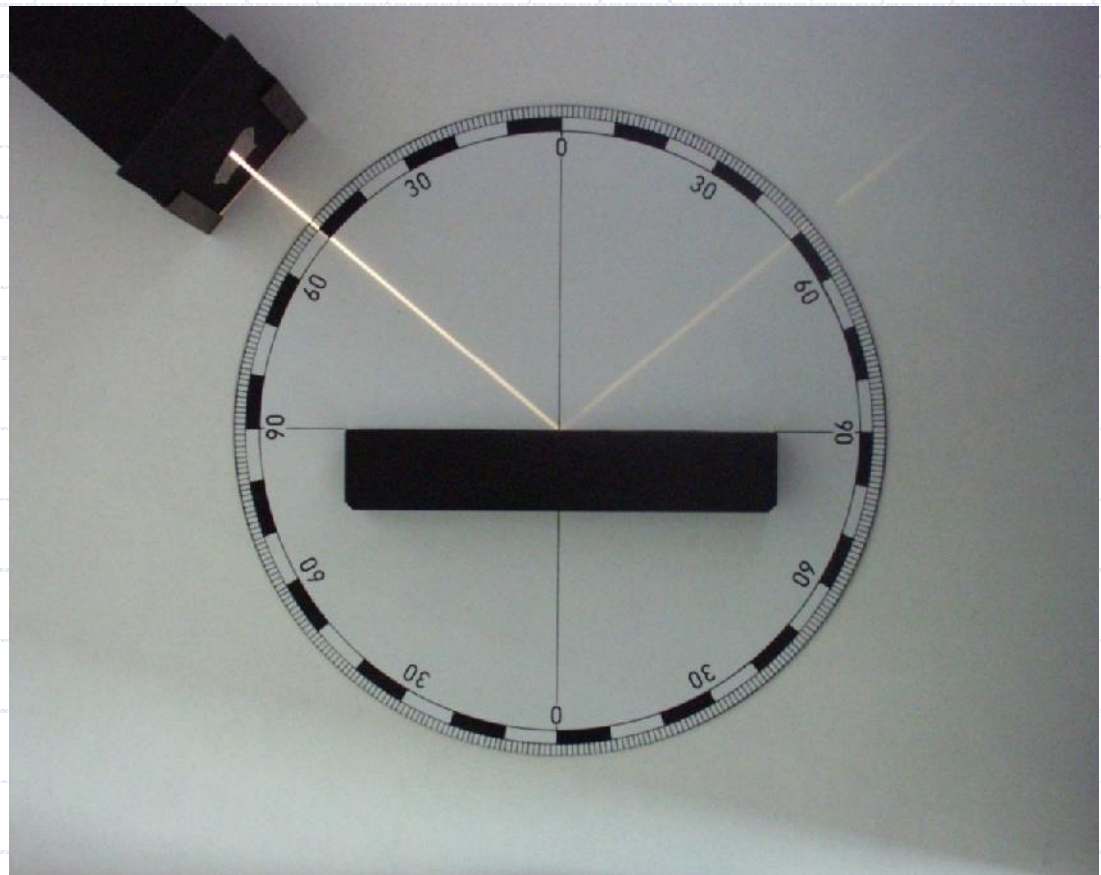
Le chemin optique  $L(AB)$  le long du rayon (AB) est défini par :

$$L_{AB} = \int_{A\hat{B}} n(s) ds = \int_{A\hat{B}} \frac{c}{v(s)} ds = \int_{t_A}^{t_B} c dt = c(t_B - t_A) \quad ; \quad n = \frac{c}{v} > 1$$

Ce chemin optique est donc égal au chemin que parcourrait la lumière dans le vide pendant la durée  $t_B - t_A$ .

## IV. Principes de l'optique géométrique

### 1. la loi de la réflexion



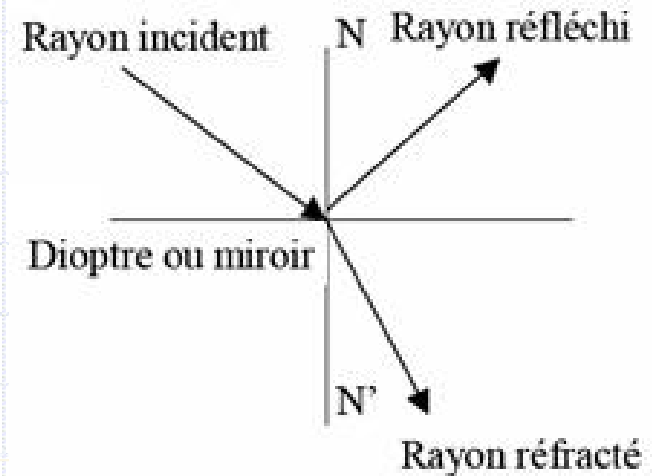
## Notions de Base

**Miroir** : surface totalement réfléchissante.

**Dioptre** : surface séparant deux milieux d'indices différents

**Rayons incident - réfléchi et réfracté**  
(voir figure)

**Normale** au miroir ou au dioptre :  $NN'$



**Plan d'incidence** : plan formé par l'incident et la normale au dioptre

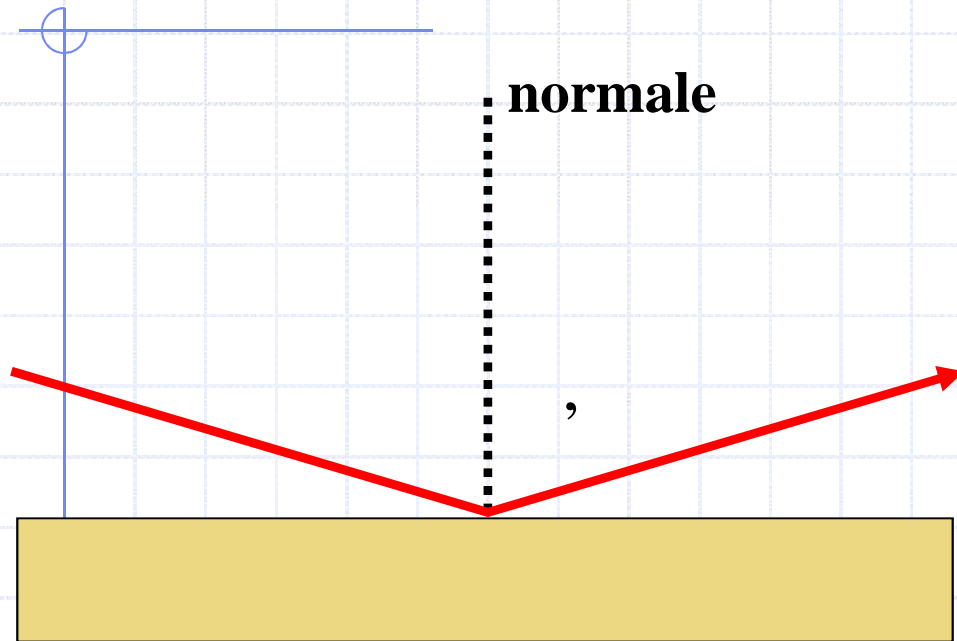
**Point d'incidence** : point de contact entre l'incident et le dioptre

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

**Angle de réflexion** : angle entre la normale et le rayon réfléchi.

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

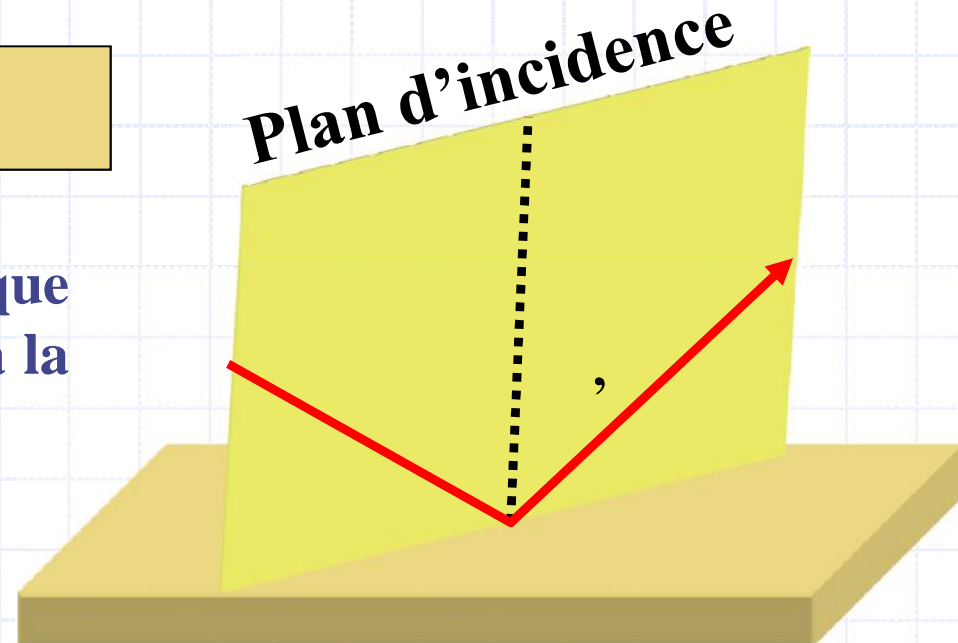




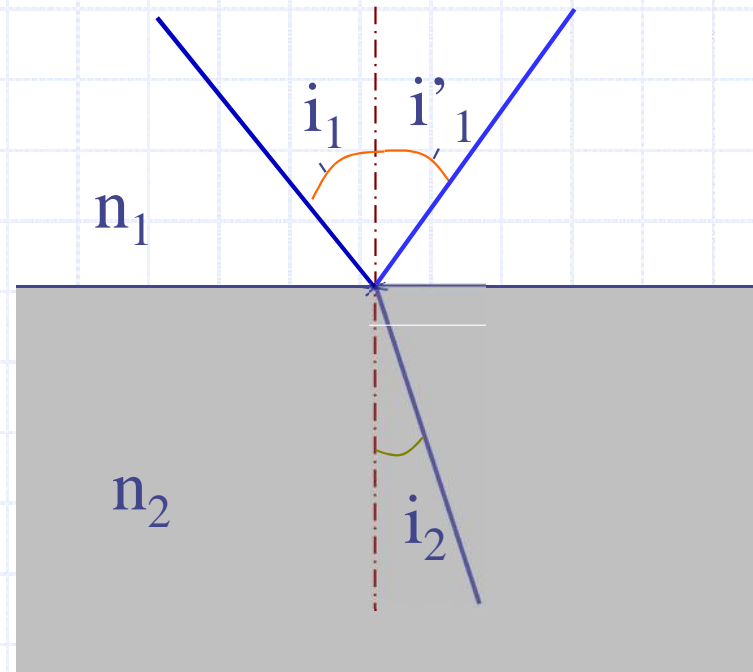
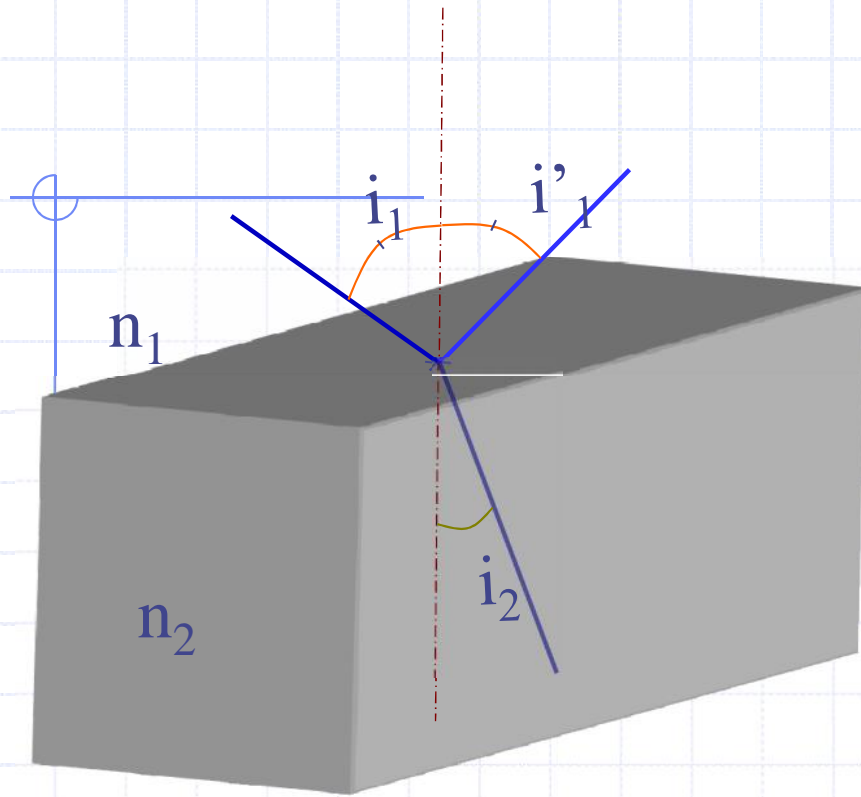
Le rayon réfléchi est symétrique  
au rayon incident par rapport à la  
normale à l'interface.

## Loi de la réflexion

$$\theta_i = \theta_r$$







La surface séparant deux milieux distincts est appelée **dioptré**.

Lorsqu'un faisceau incident atteint le dioptré au point d'incidence, il peut apparaître un **faisceau réfléchi** et un **faisceau réfracté**.

Le plan contenant le faisceau incident, le faisceau réfléchi et le faisceau réfracté est appelé **plan d'incidence**. Il contient la normale au dioptré au point d'incidence.

### Principe 3 . Loi de SNELL-DESCARTES

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

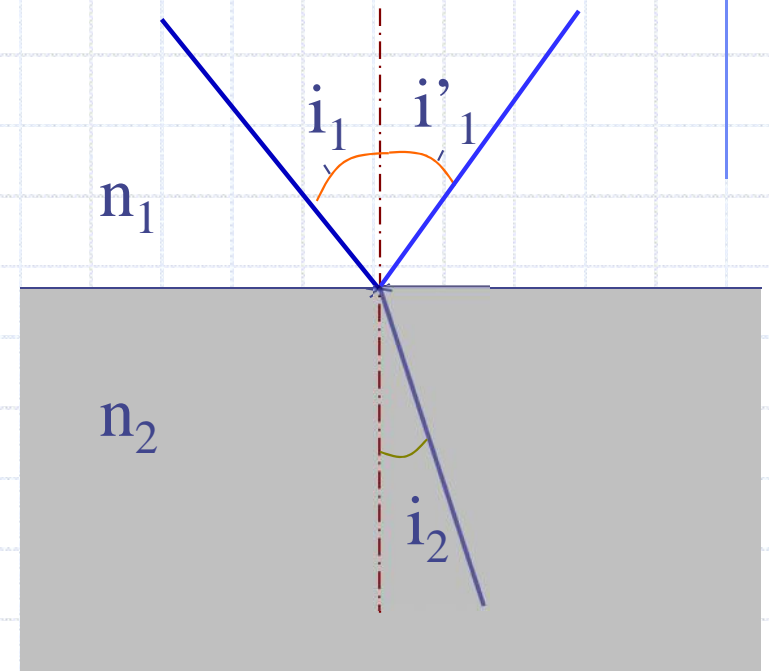
*Si  $n_2 > n_1$ ,*

*le rayon réfracté se rapproche de la normale.*

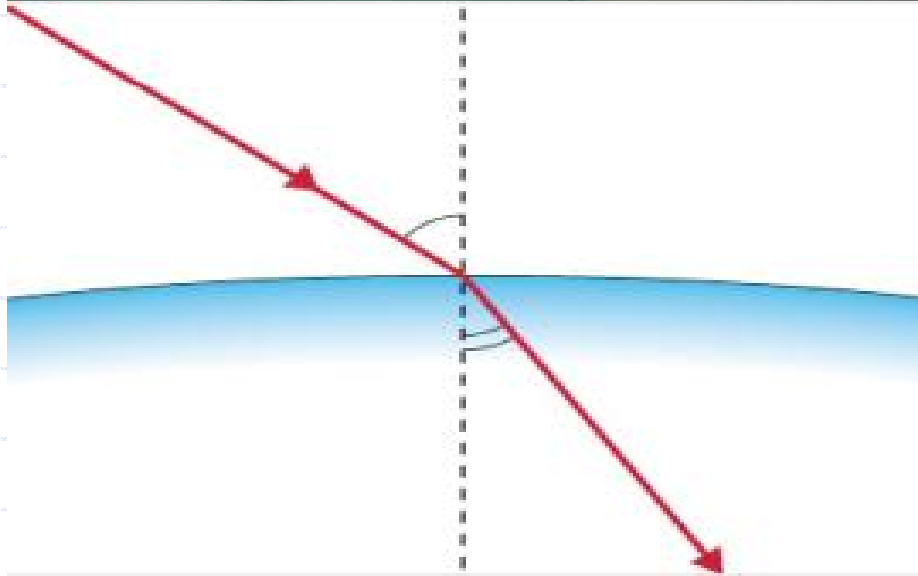
#### Réflexion:

$$n_1 \sin(i_1) = n_1 \sin(i'_1) \quad \text{donc } i'_1 = i_1$$

*Le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence  
L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence*



# Réfraction:



## Réfraction:

$$n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2) \text{ donc } i_2 = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin(i_1)\right)$$

Pour deux milieux donnés et une longueur d'onde , il existe un rapport constant entre le sinus de l'angle d'incidence  $i_1$  et le sinus de l'angle de réfraction  $i_2$

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n(\lambda) \quad n \text{ est une constante dépendant de } \lambda, \text{ on l'appelle l'indice de réfraction du milieu 2 par rapport au milieu 1.}$$

### Remarque importante:

À la surface de séparation de deux milieux transparents, il existe toujours un rayon réfléchi dès qu'il existe un rayon réfracté ; le rayon réfracté par contre n'existe pas toujours même si le rayon réfléchi existe.

# Réfraction limite et Réflexion totale:

1<sup>er</sup> cas :  $n_1 < n_2$

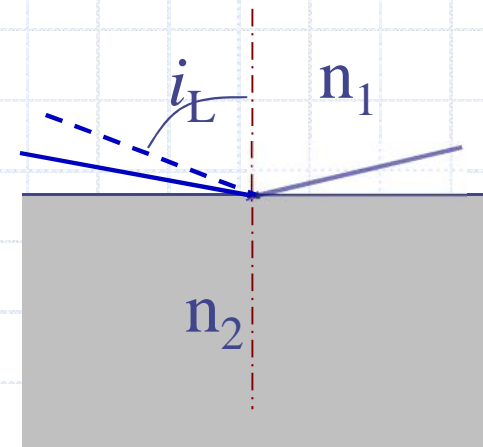
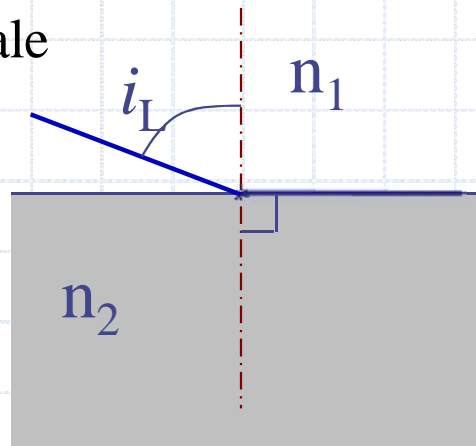
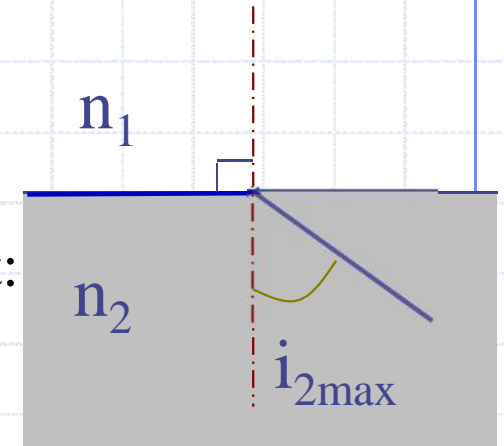
le rayon réfracté existe toujours et son angle maximum est:

$$i_{2\max} = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$$

2<sup>eme</sup> cas :  $n_1 > n_2$  (le milieu 2 est dit moins **réfringent** que le milieu 1)

l'angle  $i_2$  n'existe que lorsque  $\sin(i_2) < 1$  donc pour  $i < i_L$  tel que  $i_L = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$ ,

lorsque  $i > i_L$  il n'y a plus de rayon réfracté, le rayon incident est entièrement réfléchi:  
c'est la réflexion totale



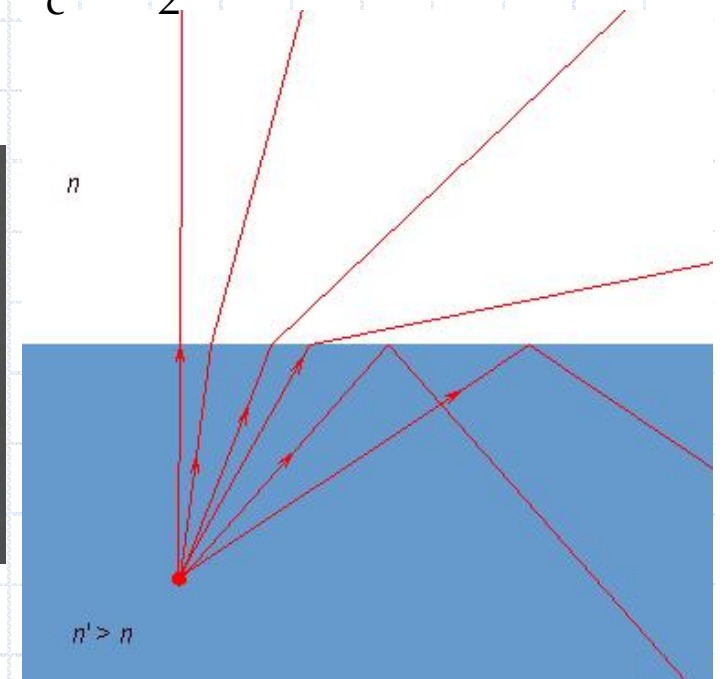
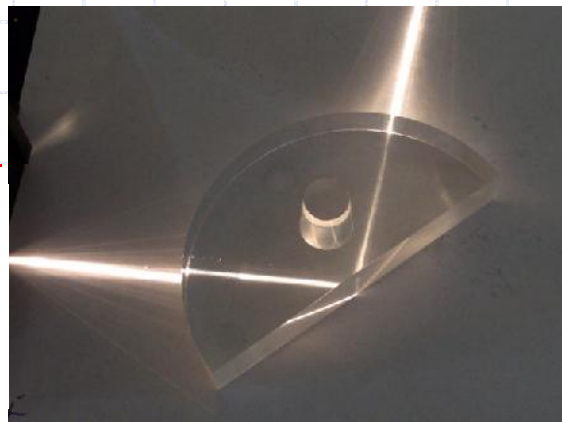
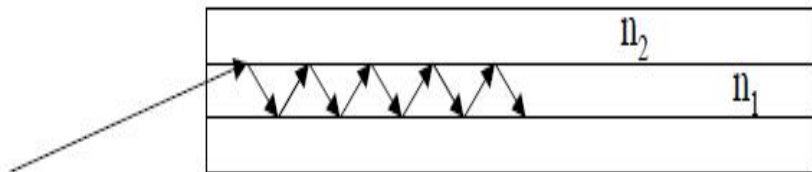


## Réflexion totale interne :

Lorsque la lumière passe d'un milieu d'indice élevé à un milieu d'indice plus faible, il peut arriver que le faisceau n'arrive pas à sortir du premier milieu: c'est la réflexion totale interne.

Ce phénomène se produit lorsque l'angle d'incidence est plus grand que l'angle critique donné par :  $n_1 \sin \theta_c = n_2$ .

### Application aux fibres optiques



## Déviation d'un rayon :

C'est l'angle entre les directions d'incidence et de réfraction.

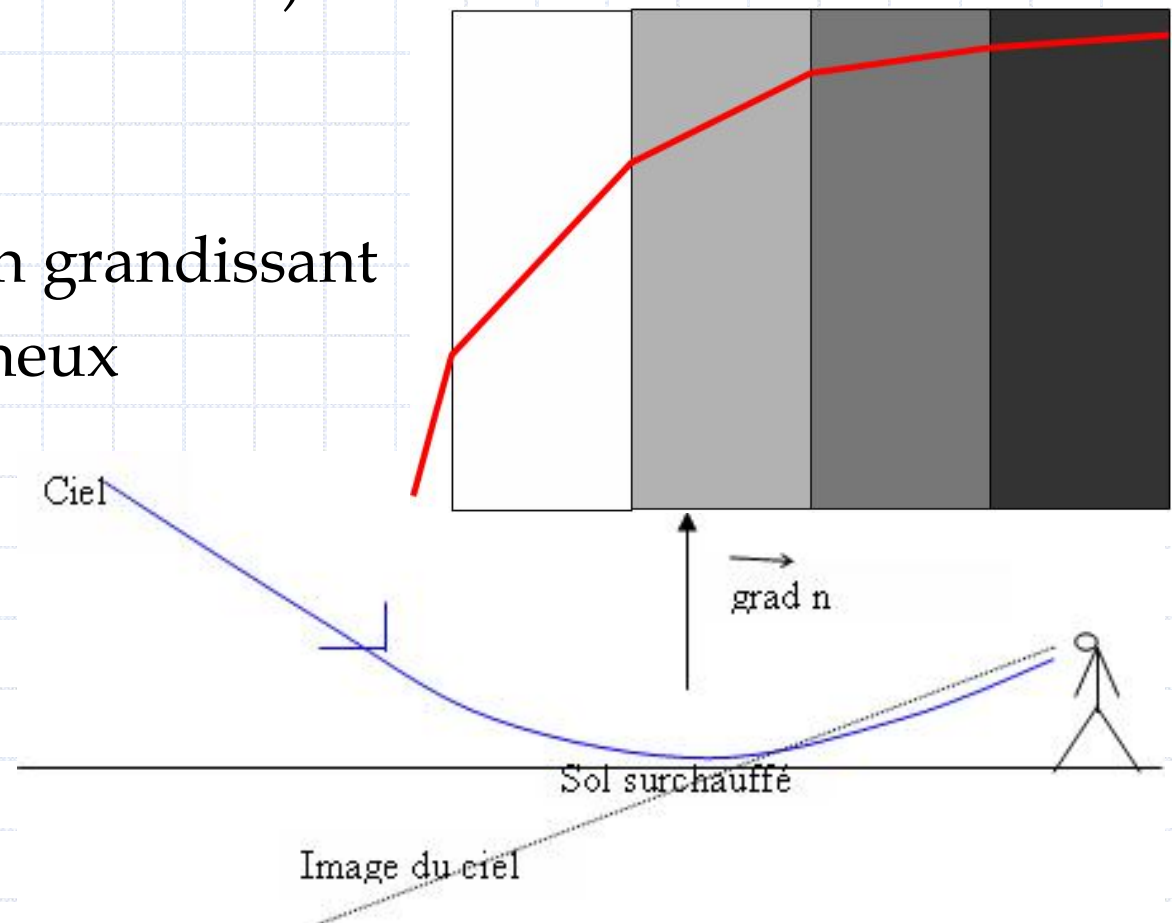
**Approximation aux petits angles :**  $n_1 i_1 = n_2 i_2$

Si les angles sont petits ( $<10^\circ$  environ)  $\sin i \approx i$  :

### Milieux d'indice variable

Gradient d'indice de réfraction grandissant  
Courbure des rayons lumineux

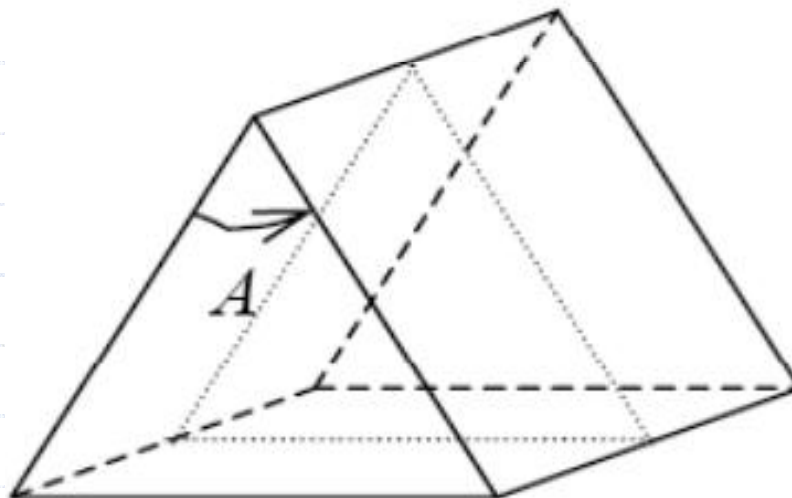
**Exemple : le mirage**



## Etude du prisme

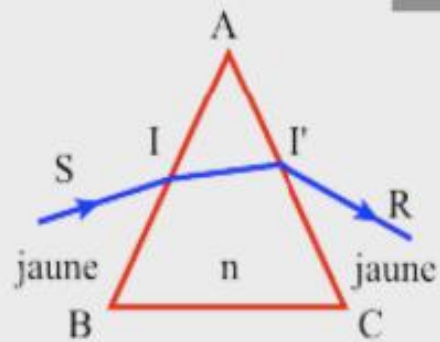
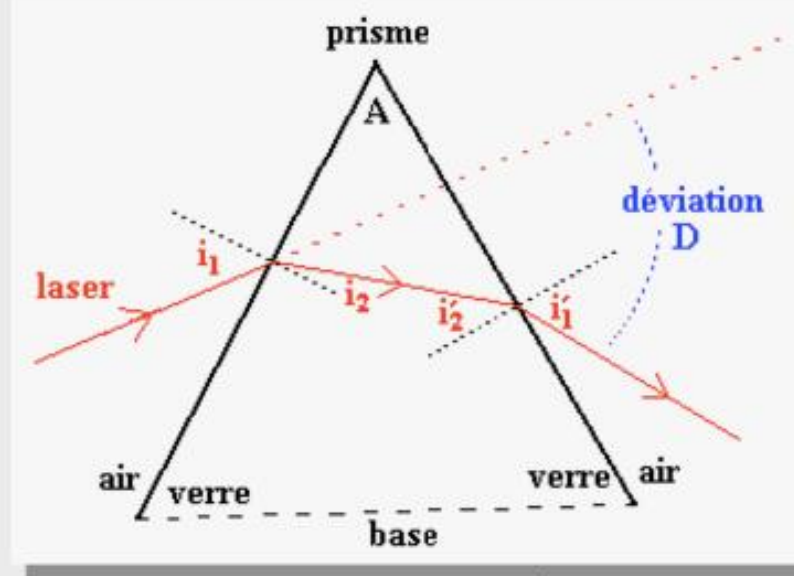
### Définition

Un prisme est un milieu homogène, généralement en verre, délimité par deux dioptre non parallèles. L'angle  $A$  est appelé angle au sommet du prisme. On éclaire en général un prisme sur une de ses sections (en pointillés sur la figure) : on le représentera comme un triangle

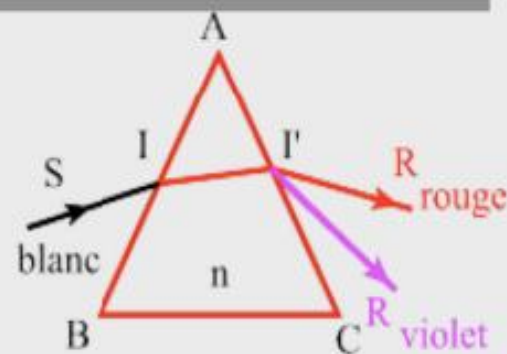


# Etude du prisme – Réfraction-

## Marche d'un rayon dans le prisme :



Faisceau monochromatique



Faisceau polychromatique



# Réfraction

Les formules du prisme sont :

$$\sin(i) = n \sin(r) \quad (1)$$

$$\sin(i') = n \sin(r') \quad (2)$$

$$r + r' = A \quad (3)$$

$$D = i - r + i' - r' = i + i' - A \quad (4)$$

Si les angles sont petites la déviation est indépendante de l'angle d'incidence

$$D = (n - 1)A$$