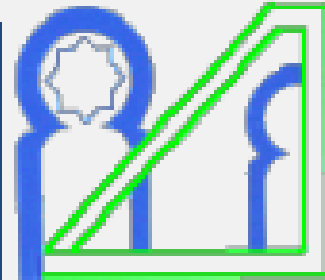
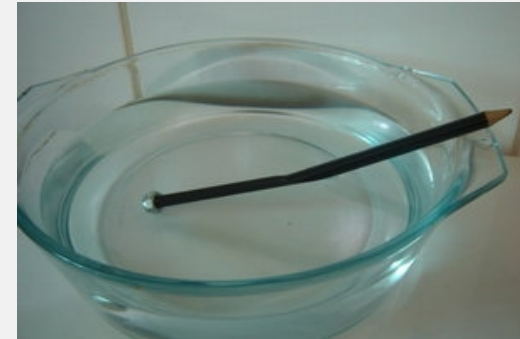




Les lois fondamentales de l'optique géométrique



SMIA session de printemps
2021



Pr Hamid TOUMA

Département de Physique
Faculté des Sciences de Rabat
Université Mohamed V

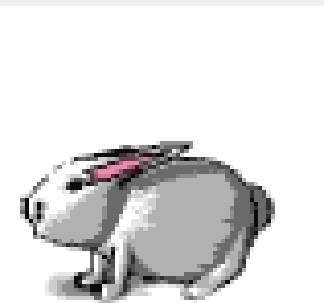
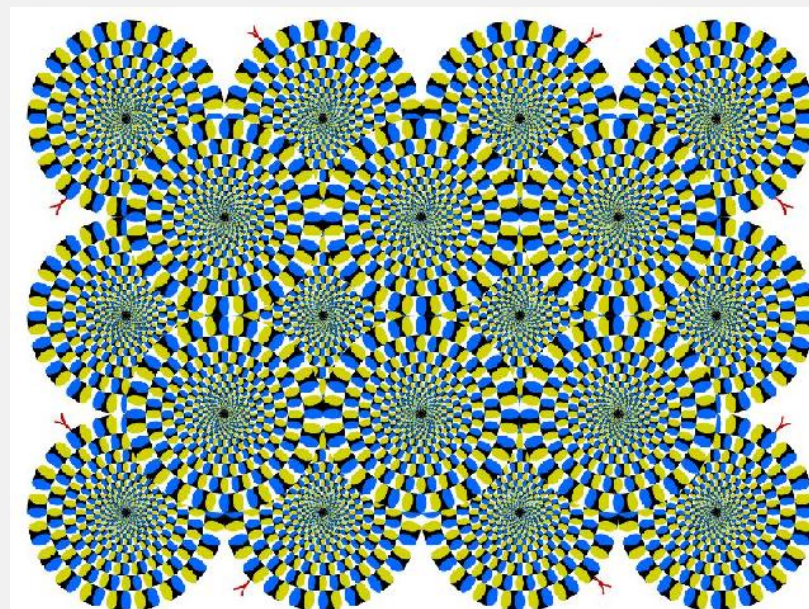
SMIA section B

Lundi 5 avril 2021



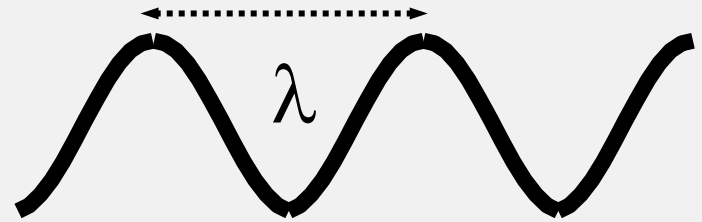
Un visage ou une scene dans un bois ?

CE QU'IL FAUT RETENIR



Lumière : onde électromagnétique

$$\lambda = v.T \quad \text{avec} \quad T = \frac{1}{f}$$



Longueur d'onde de la lumière visible

$$350\text{nm} \leq \lambda_{\text{visible}} \leq 650\text{nm}$$

air n=1

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

L'indice de réfraction d'un milieu matériel où la lumière se propage à la célérité v .

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ célérité de la lumière dans le vide

Pas de frontière nette entre les teintes de l'arc en ciel (les 7 couleurs)

Violet 380–450 nm

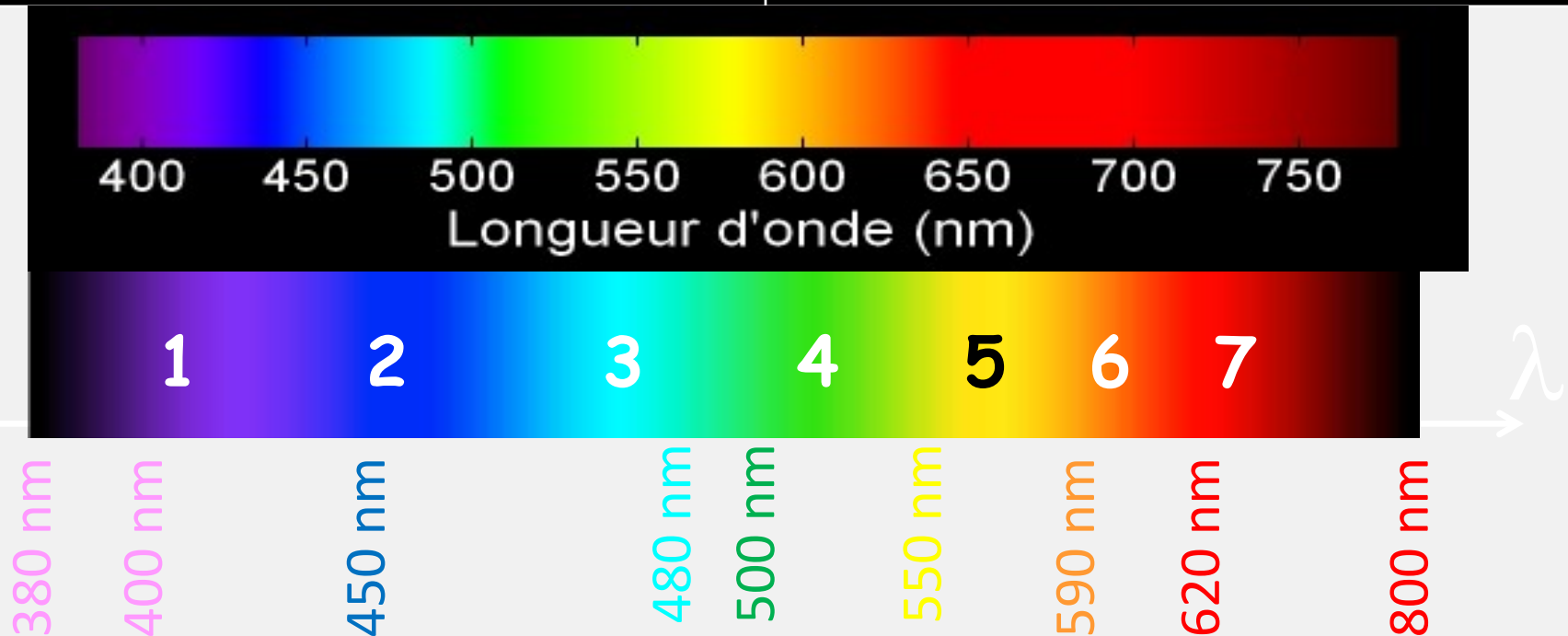
Jaune 550–590 nm

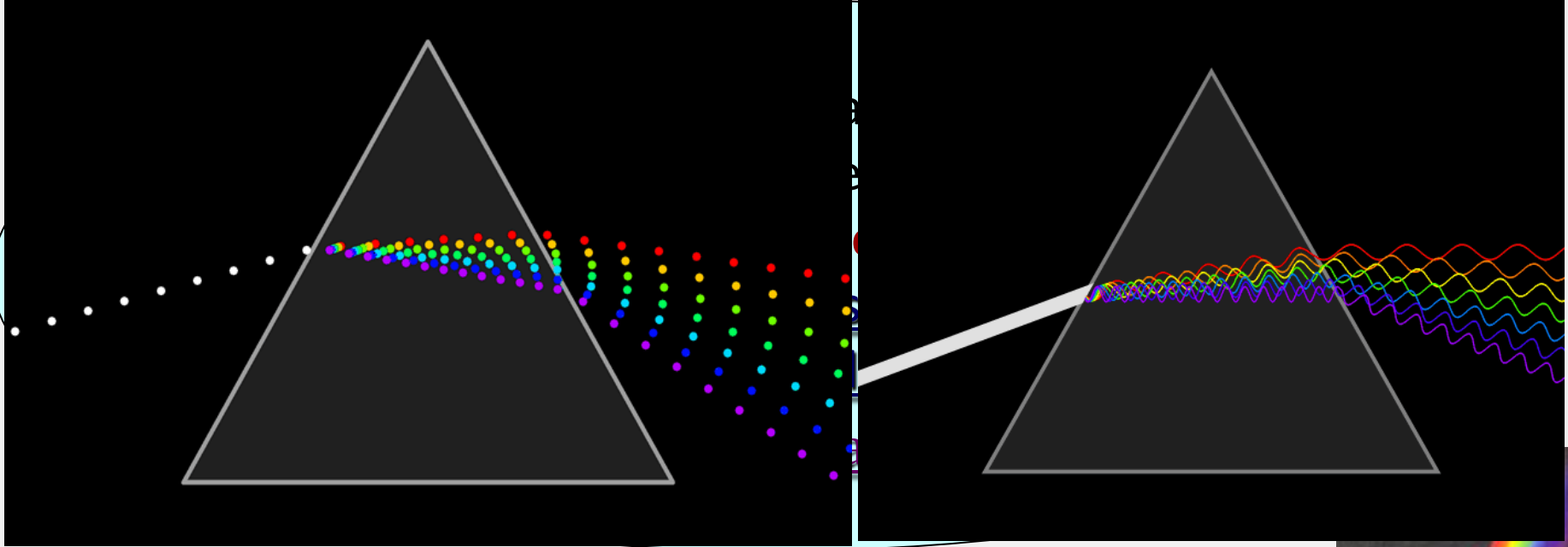
Bleu 450–495 nm

Orange 590–620 nm

Vert 495–570 nm

Rouge 620–800 nm



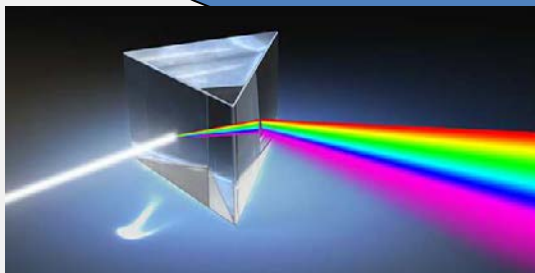


$$\lambda = v \cdot T = \frac{\lambda_0}{n}$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$



Milieu dispersif : Formule de Cauchy :



$$n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2} = n_{\text{milieu}} + \Delta n$$

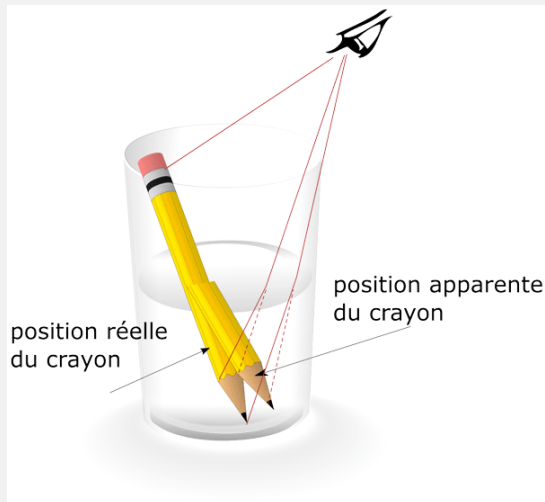
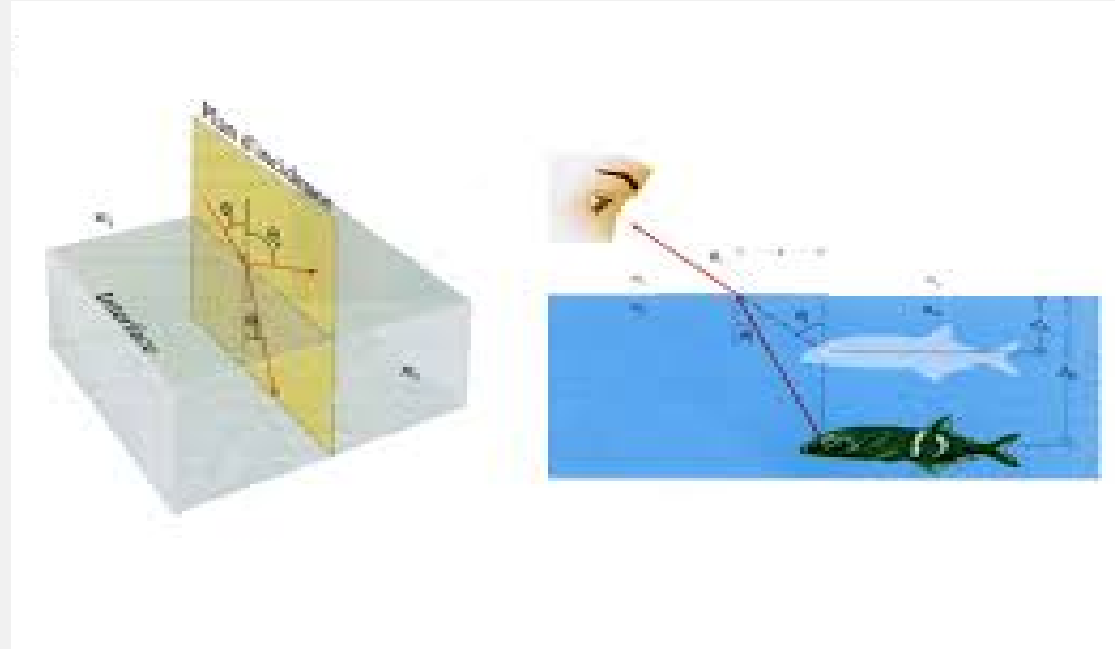
➤ Quand la lumière rencontre une surface réfléchissante, elle subit le phénomène de réflexion.

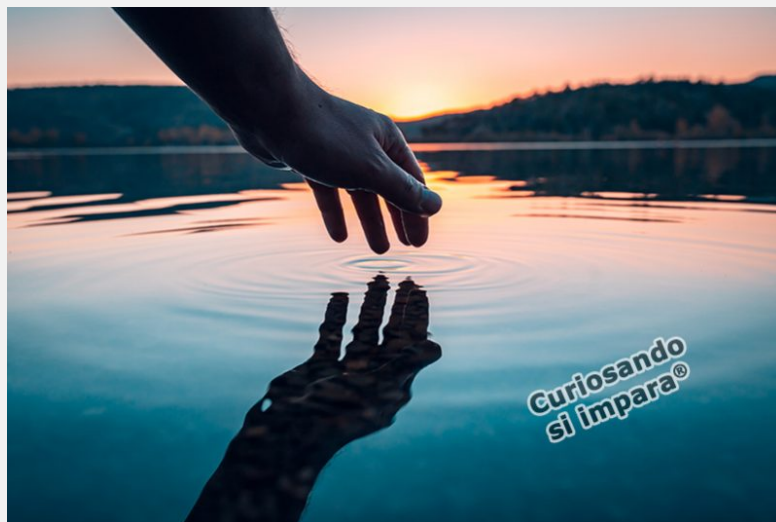
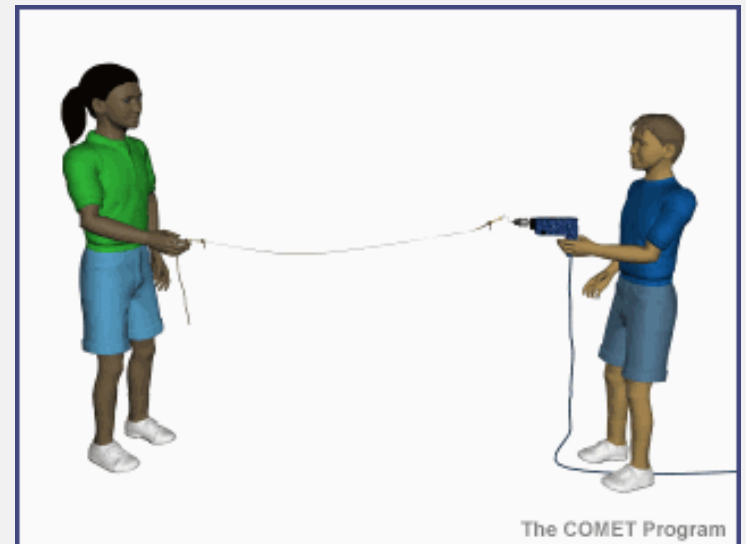
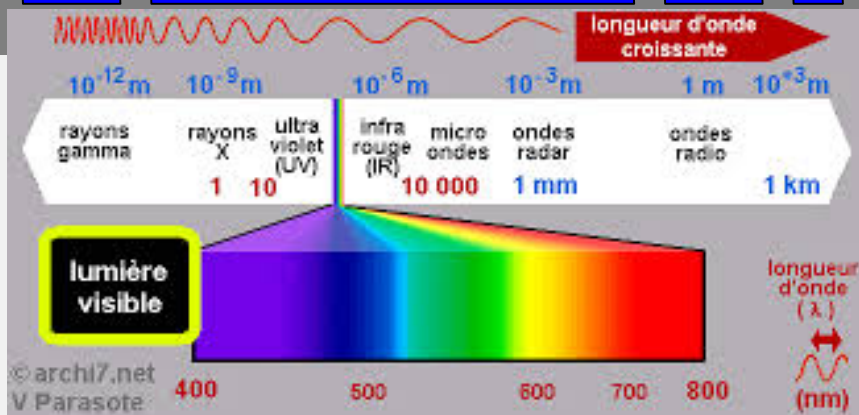


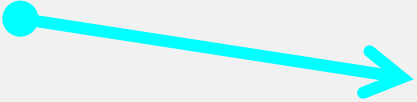
Piscine : nous voyons le fond d'un bassin et le reflet du paysage (arbres,...) sur la surface d'eau du bassin.

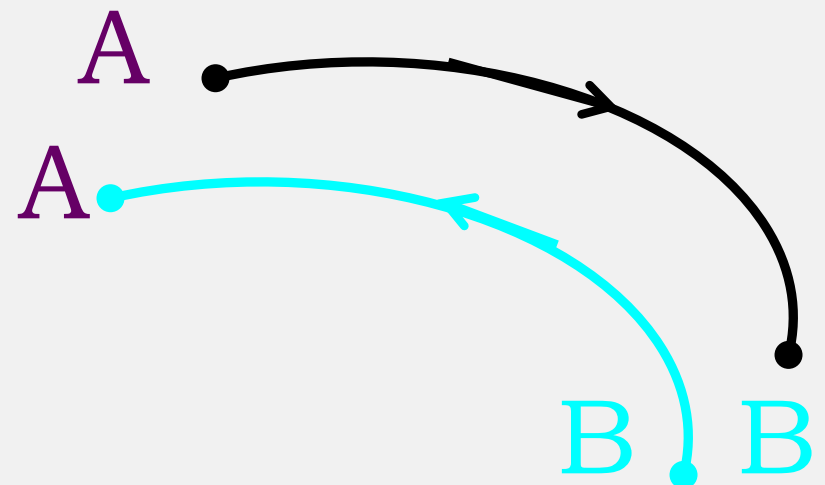
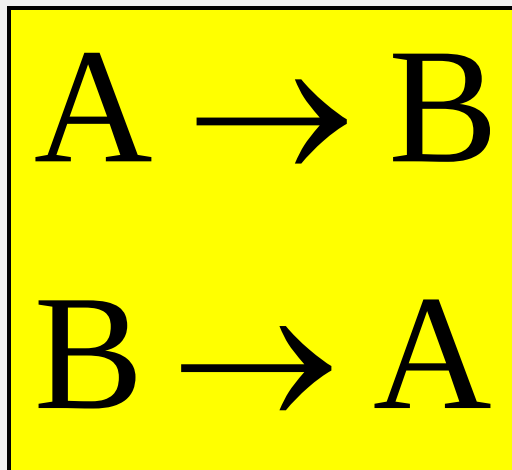
Vitrine : nous voyons les objets exposés et en même temps notre silhouette

➤ Quand la lumière rencontre une surface réfringente, il y aura le phénomène de réfraction.

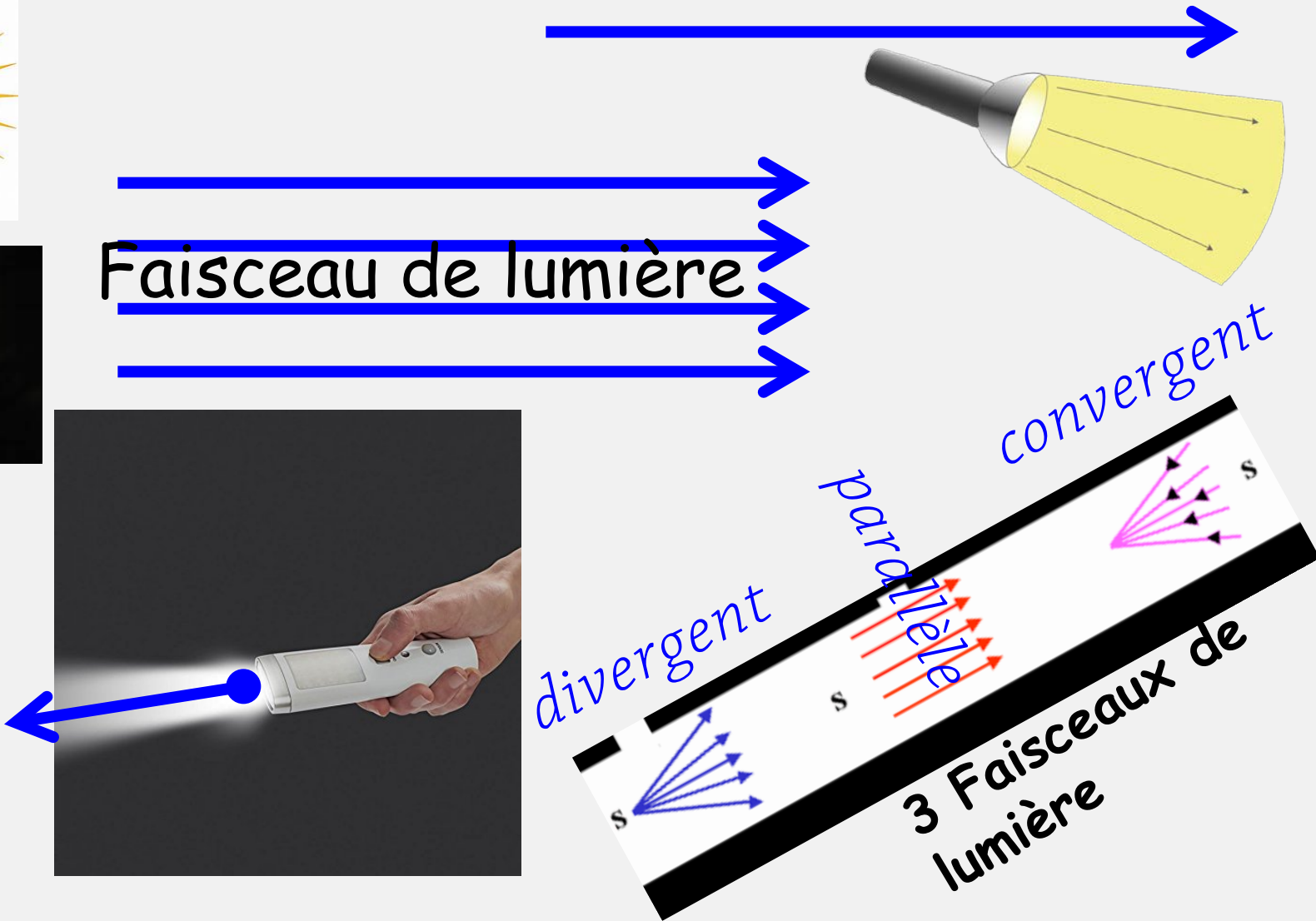
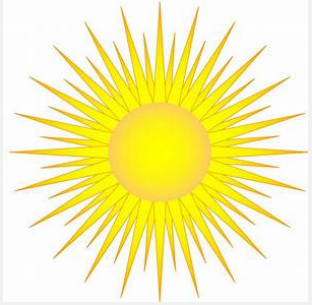




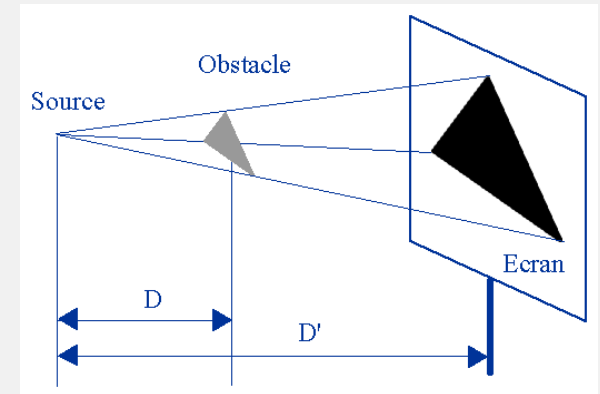
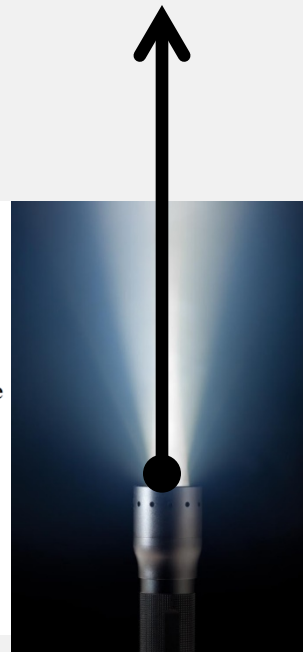
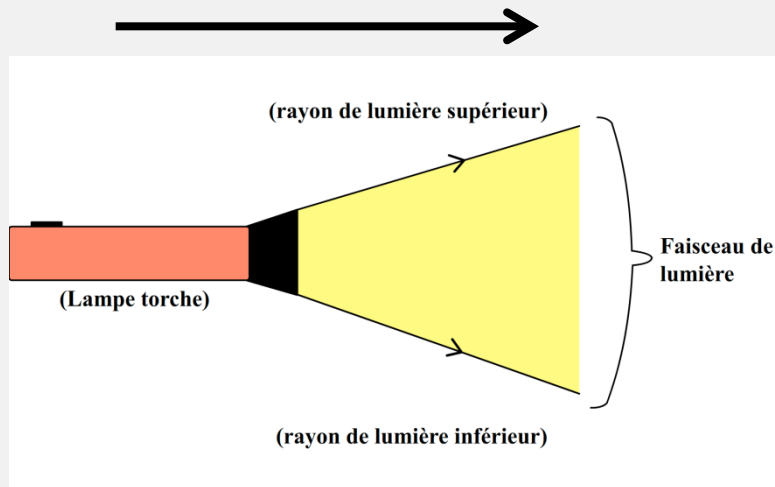
- L'optique géométrique schématise la lumière par un rayon lumineux.
- La lumière se propage dans un milieu homogène en ligne droite. 
- Indépendance des rayons lumineux
- Le principe de retour inverse de la lumière



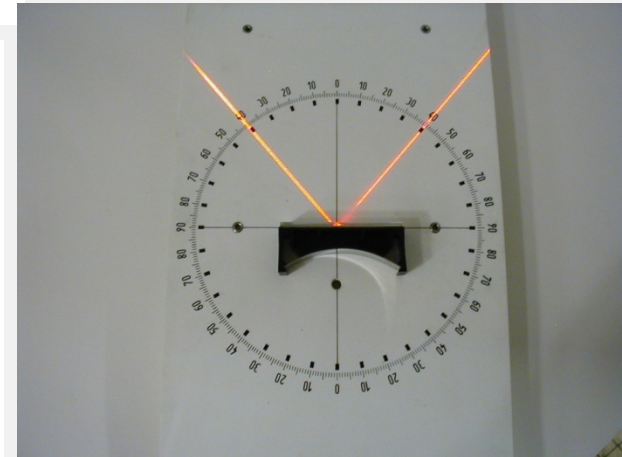
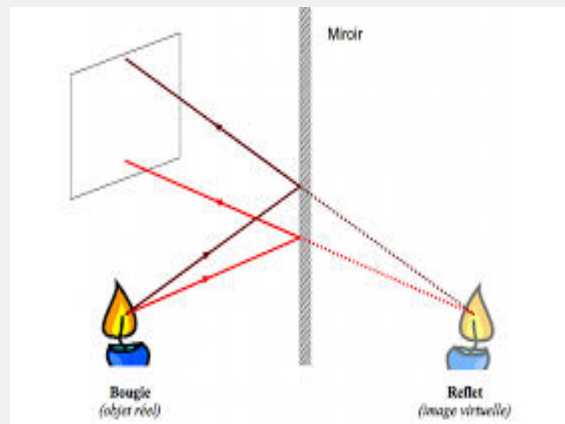
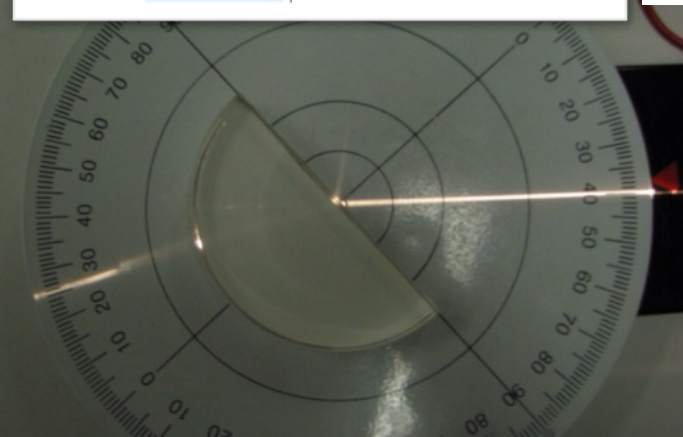
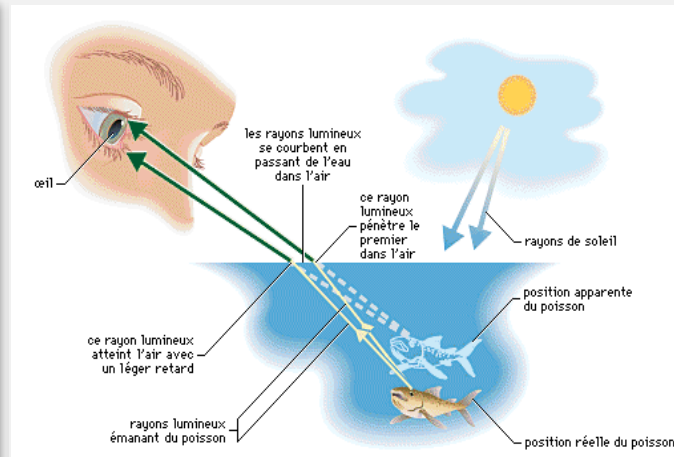
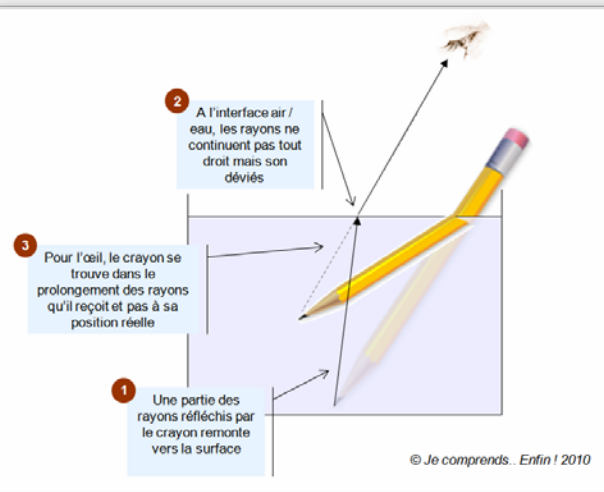
➤ L'optique géométrique schématise la lumière par un rayon lumineux.

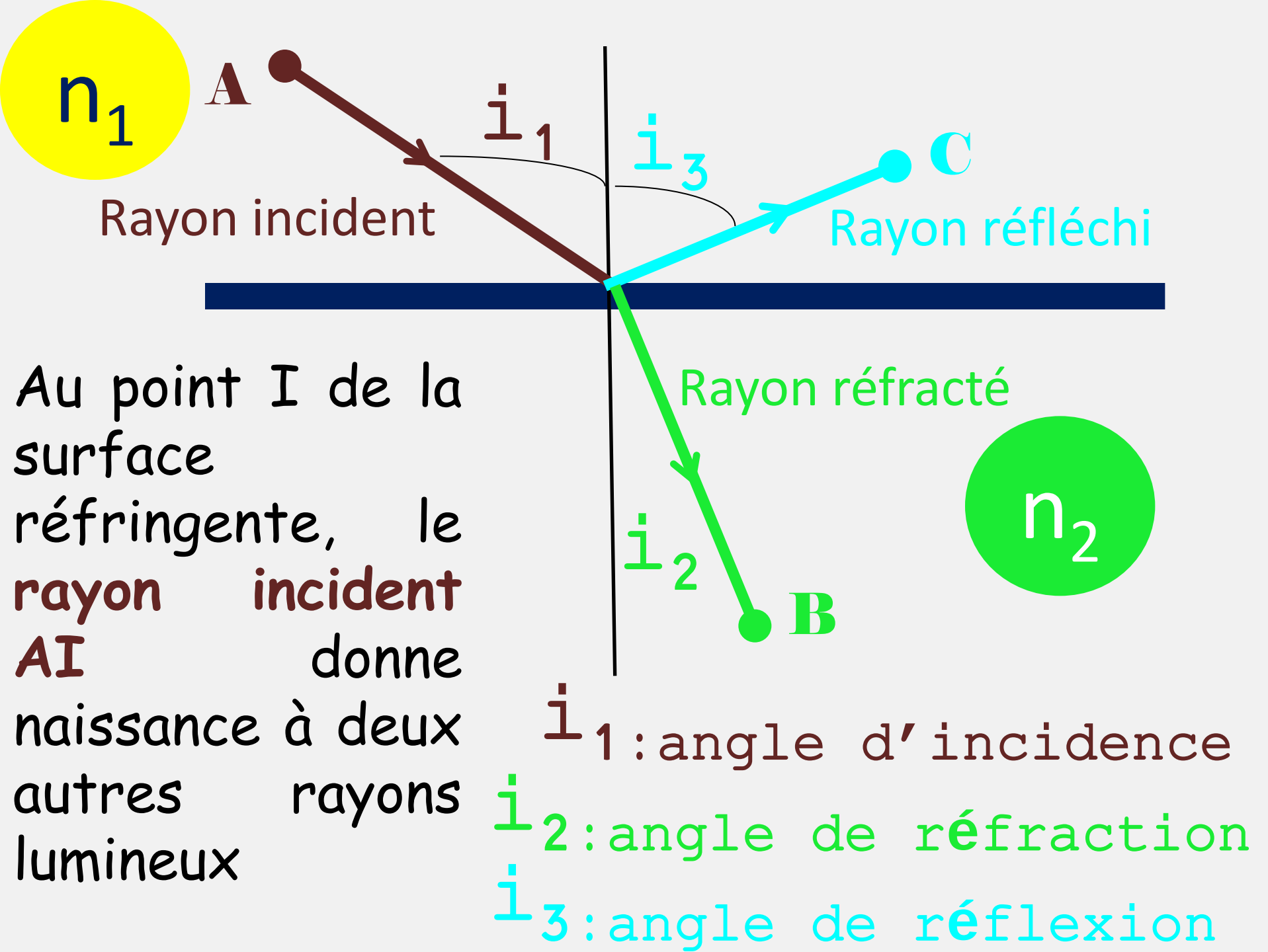


L'indépendance des rayons lumineux permet de décomposer un faisceau en rayons, et d'étudier séparément la marche de chaque rayon, ce qui constitue le but de l'optique géométrique.

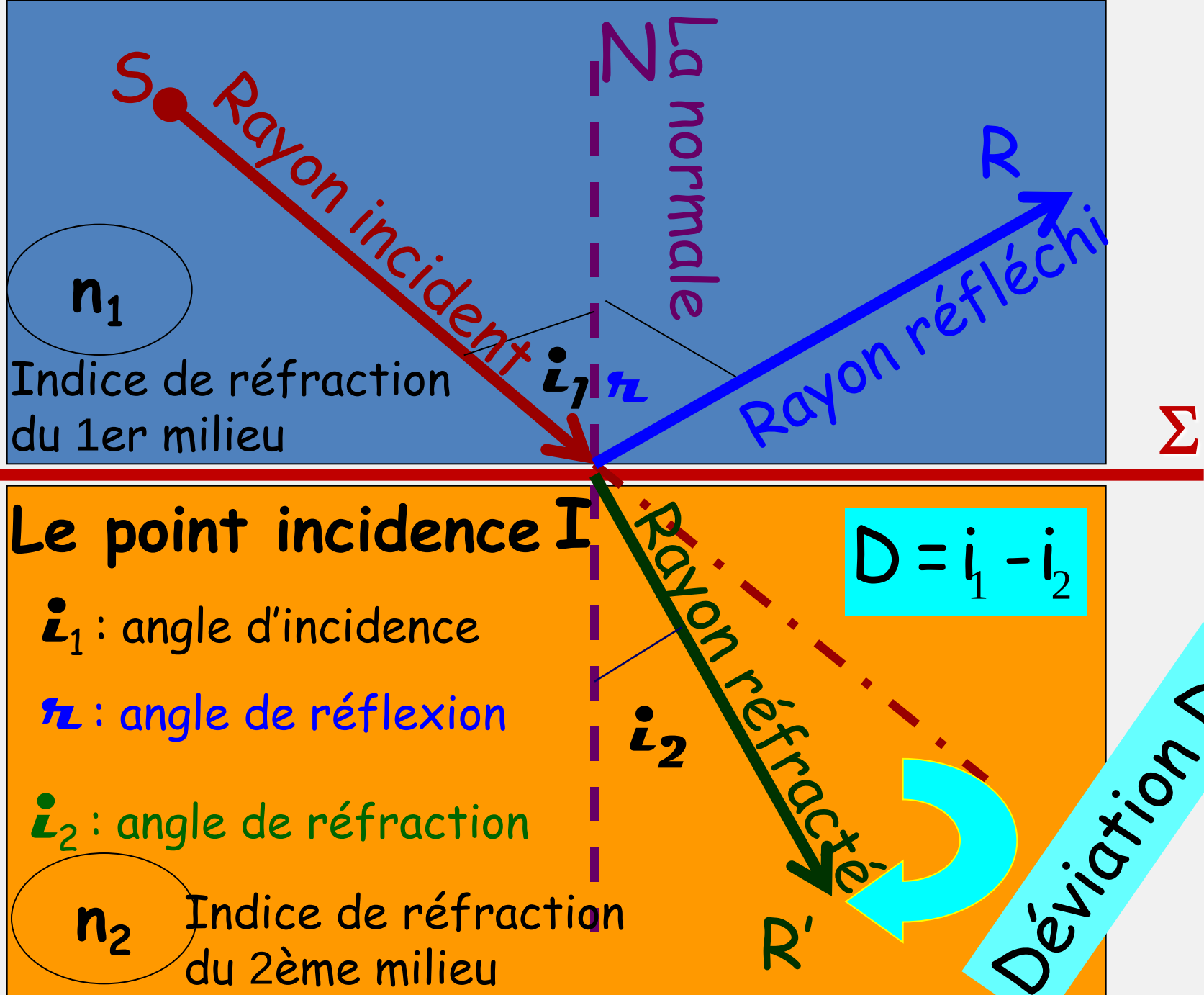


Le comportement de ce rayon lumineux à la surface plane d'un **miroir** ou à la surface de séparation est décrit par les lois de Snell-Descartes ou le Principe de Fermat.

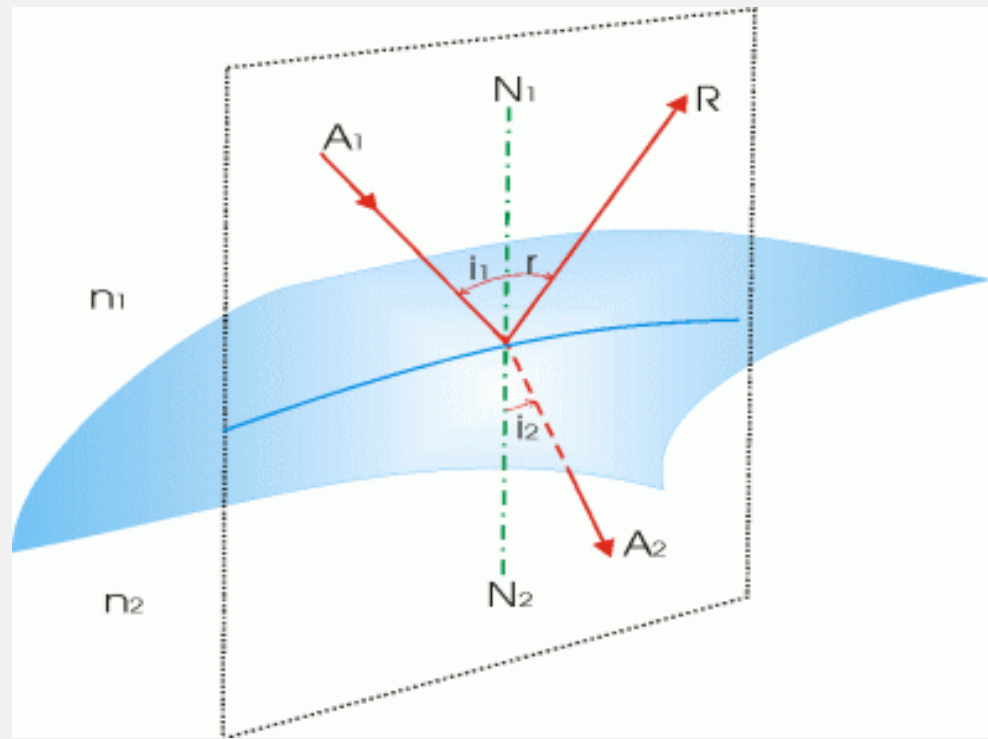




Surface de séparation



Les lois de Snell-Descartes fixent la direction des faisceaux réfléchis et réfractés en fonction de celle du faisceau incident.



Les lois de Snell-Descartes :

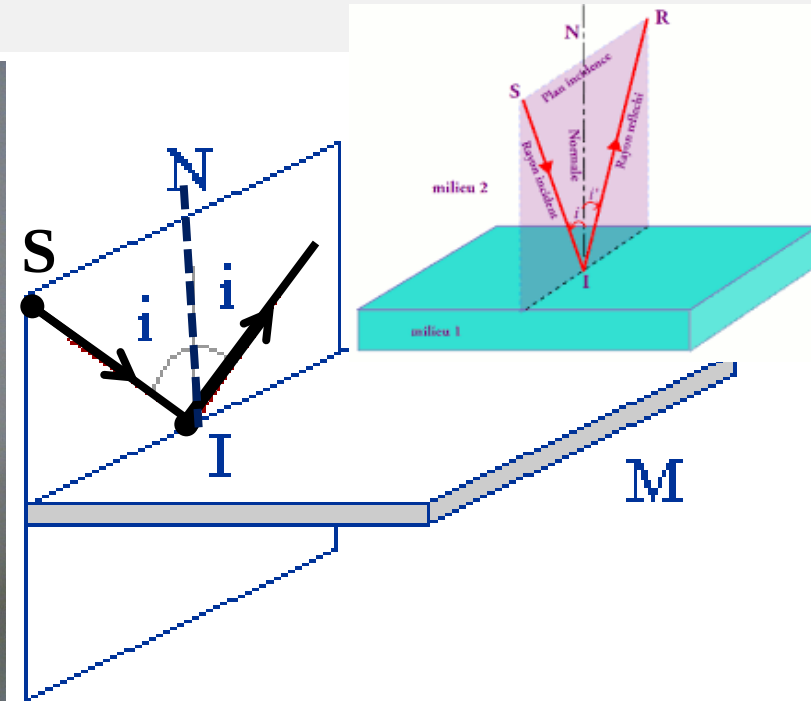
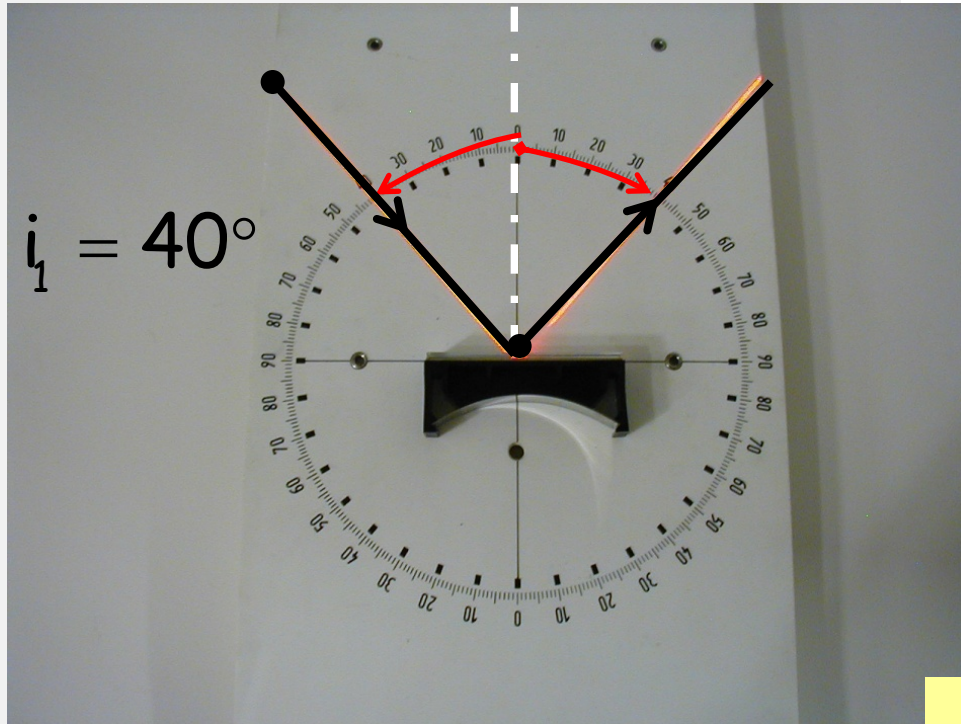
1. Les lois de la réflexion
2. Les lois de la réfraction



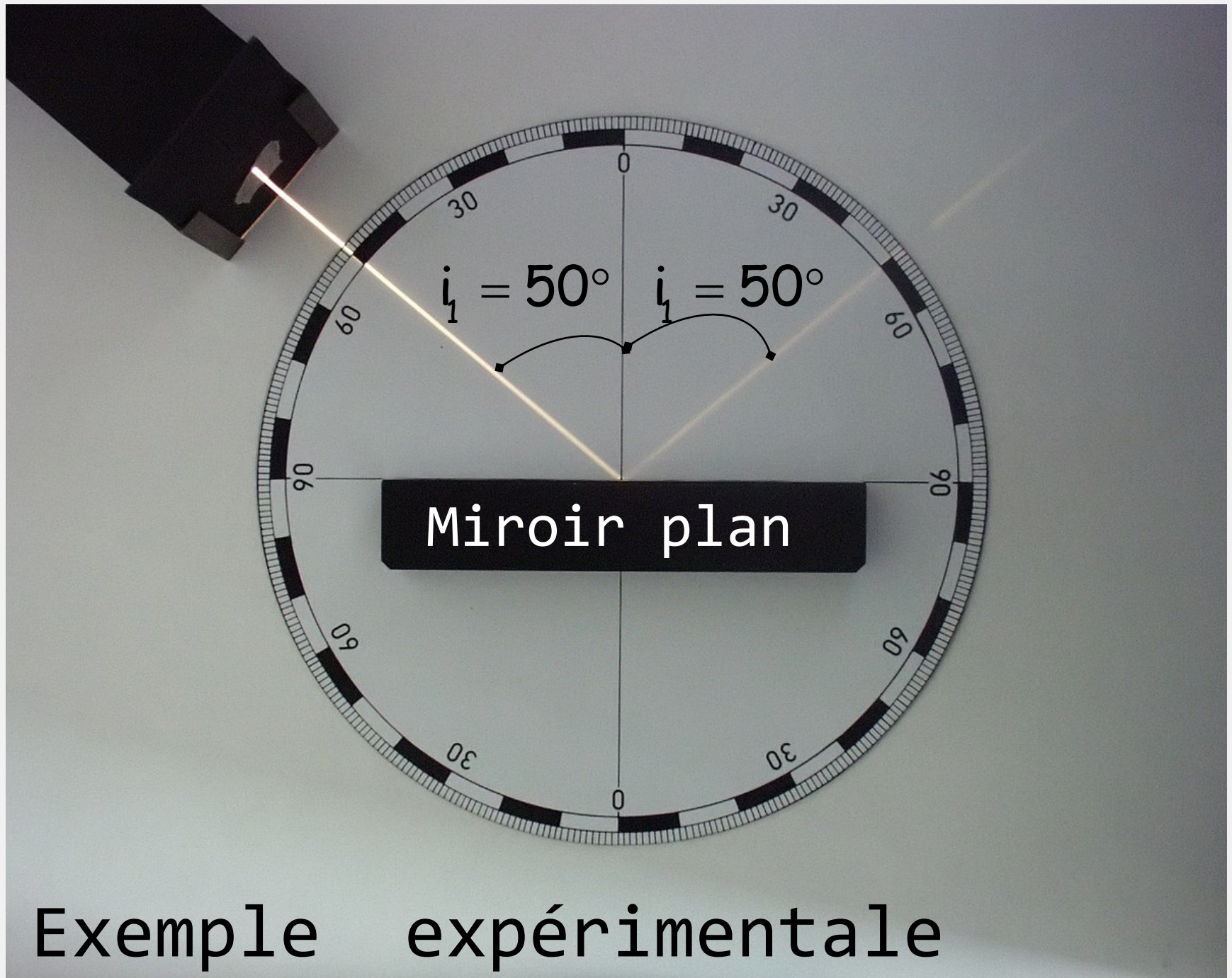
René Descartes 1596-1650

Willebrord Snell 1580-1626

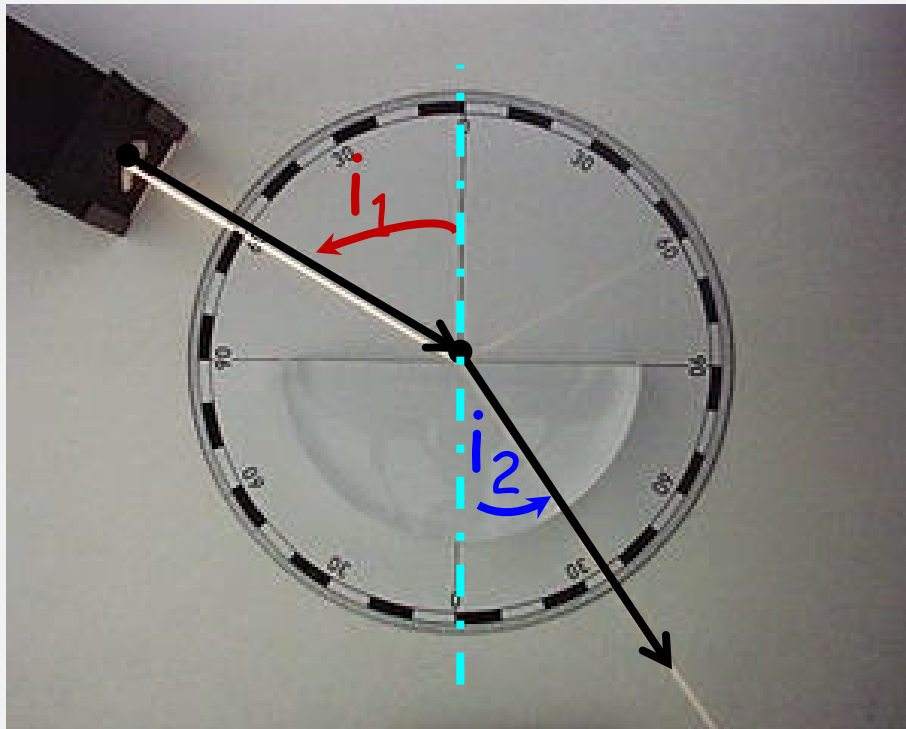
1. Le rayon réfléchi et le rayon incident sont dans le **plan d'incidence** formé par la normale et le rayon incident (IN,SI)
2. L'angle de réflexion est **égal** à l'angle d'incidence, ce qui se traduit par : $i = r$



La loi de la réflexion



1. Les rayons **réfracté** et **incident** sont dans le même plan d'incidence défini par les deux vecteurs (IN,SI)
2. L'angle de réfraction i_2 et l'angle d'incidence i_1 sont liés par la relation :



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

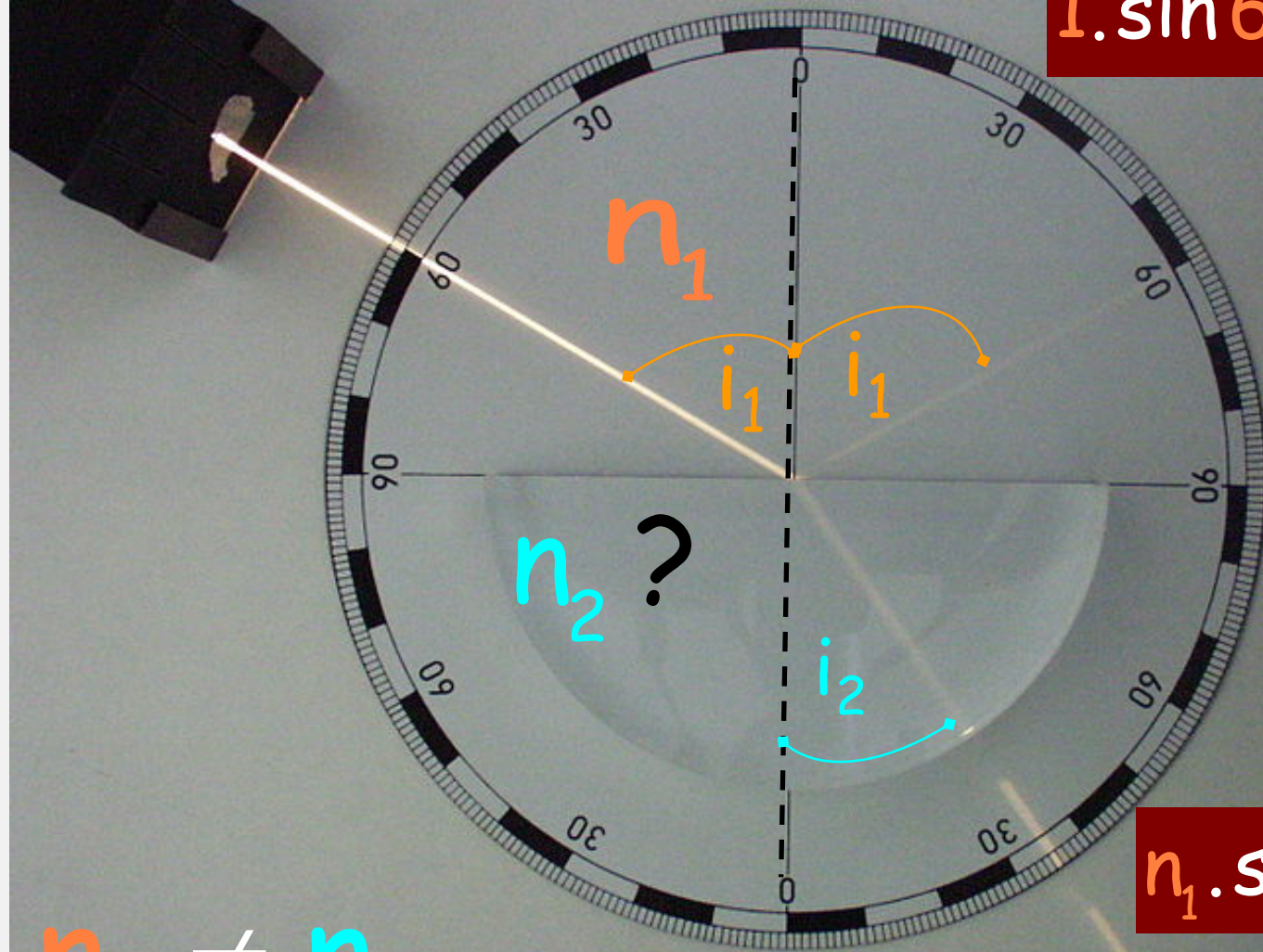
air $n_1=1$

verre n_2

La loi de la réfraction

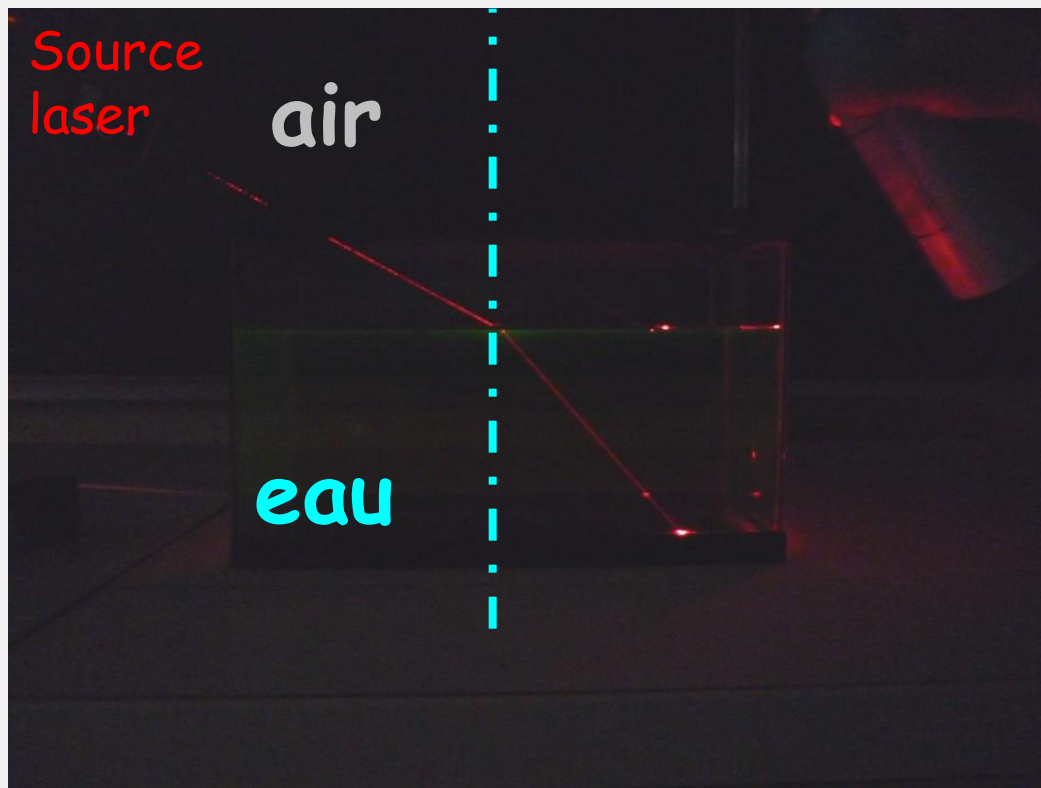
$$n_1 = 1, n_2 = ?, i_1 = 60^\circ, i_2 = 34^\circ \rightarrow n_2 = 1,5487$$

$$1 \cdot \sin 60 = n_2 \cdot \sin 34$$



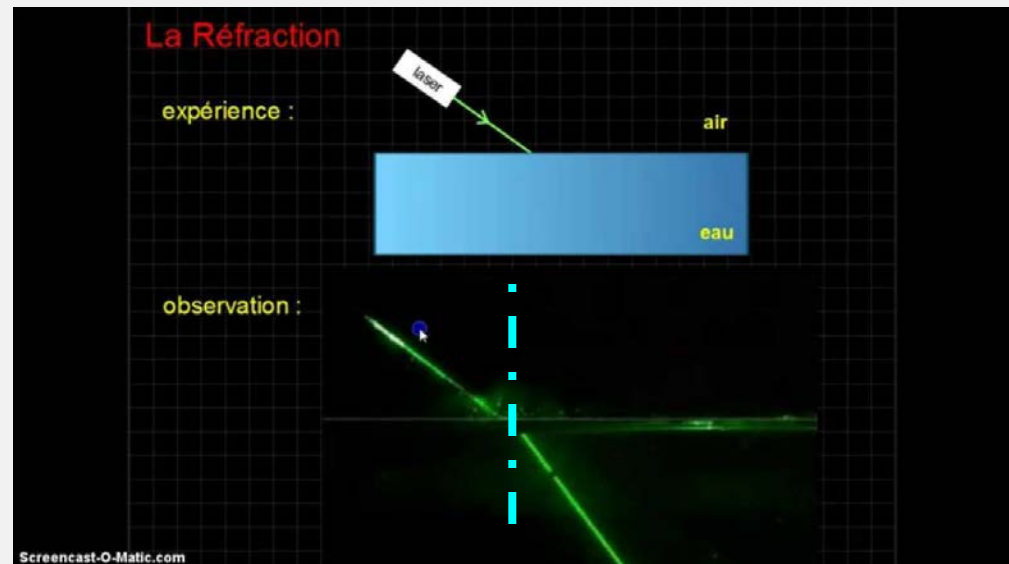
$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

$$n_1 \neq n_2$$



Phénomène de la
Réfraction de la
 Lumière laser par le
 dioptré plan (**air**, **eau**)

Expérience de
 laboratoire:



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



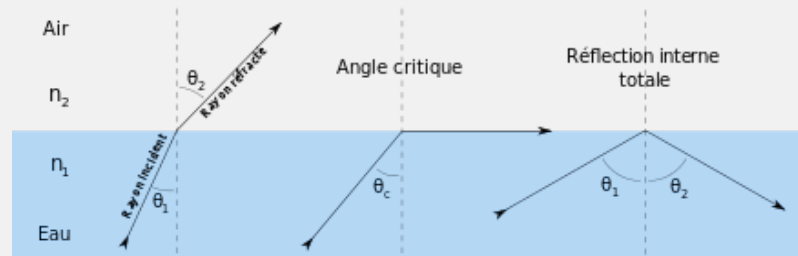
$$n_1 < n_2 \Rightarrow i_1 > i_2 \quad \text{Réfraction}$$

$$n_1 > n_2 \Rightarrow i_1 < i_2 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Réfraction} \\ i_1 < \Lambda \end{array} \right.$$

$$n_1 > n_2 \Rightarrow i_1 < i_2 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Réflexion} \\ i_1 > \Lambda \end{array} \right.$$



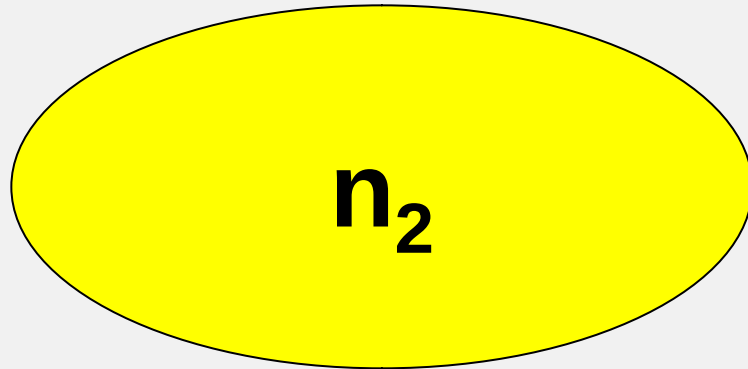
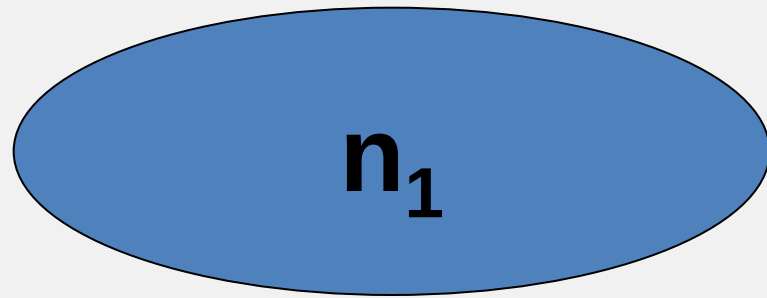
La lumière passe d'un milieu matériel moins réfringent, indice de réfraction n_1 faible, vers un milieu matériel plus réfringent, indice de réfraction n_2 plus grand; $n_2 > n_1$, sans aucune condition.



La lumière passe d'un milieu matériel plus réfringent, indice de réfraction n_1 plus, vers un grand milieu matériel moins réfringent, indice de réfraction n_2 faible; $n_1 > n_2$, à condition que l'angle d'incidence soit plus petit que l'angle de réfraction limite Λ , sinon il y aura réflexion totale c'est-à-dire pas de réfraction de la lumière.



$$\sin \Lambda = \frac{n_{\text{faible}}}{n_{\text{grand}}}$$



$$\sin \Lambda = \frac{n_{\text{faible}}}{n_{\text{grand}}}$$

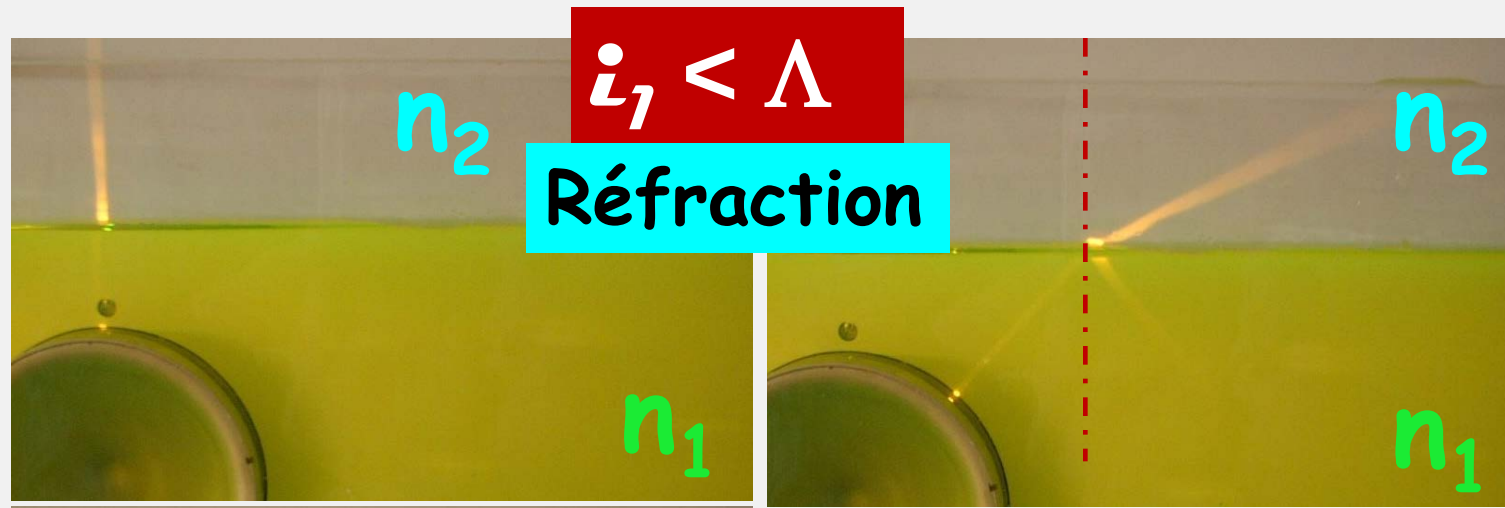
Exemples : air $n_0=1$,
eau $n = 4/3$, verre = $3/2$

L'angle de réfraction limite Λ se trouve
toujours dans le milieu le plus réfringent
(le milieu homogène d'indice le plus élevé $n_{\text{+grand}}$)

La **réflexion totale** se fait toujours quand la
lumière se propage du **milieu le plus réfringent**
($n_{\text{+grand}}$) vers le **milieu le moins réfringent** ($n_{\text{+faible}}$) .

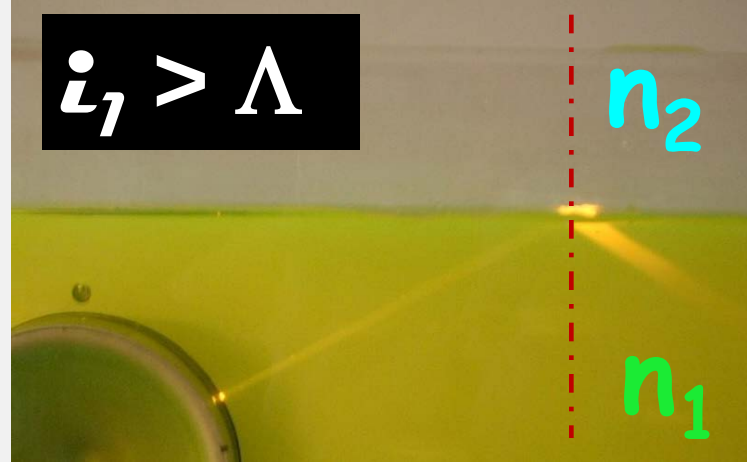
The diagram illustrates the conditions for total internal reflection at the interface between two media with refractive indices n_1 and n_2 , where $n_1 > n_2$.

- Top Region (Orange):** Medium with refractive index n_2 .
- Bottom Region (Cyan):** Medium with refractive index n_1 .
- Interface:** A horizontal line labeled Σ .
- Normal:** A vertical line labeled N .
- Incident Ray (Red):** Approaches the interface at an angle i_1 to the normal.
- Refracted Ray (Blue):** Travels along the interface (90 degrees) when $i_1 = \Lambda$ (critical angle). The angle of refraction is i_2 .
- Reflected Ray (Black):** Occurs for $i_1 > \Lambda$, labeled "Réflexion totale".
- Angle of Incidence:** Labeled i_1 in red.
- Angle of Refraction:** Labeled i_2 in red.
- Critical Angle:** Labeled Λ in blue.
- Snell's Law:** $\sin \Lambda = n_2 / n_1$ (shown in a pink box).
- General Snell's Law:** $\sin \alpha = \frac{n_{\text{faible}}}{n_{\text{grand}}}$ (shown in a black box).
- Source Points:** Labeled S in black, red, and blue.
- Observer Point:** Labeled I in black.



Réfraction

$i_1 < \Lambda$

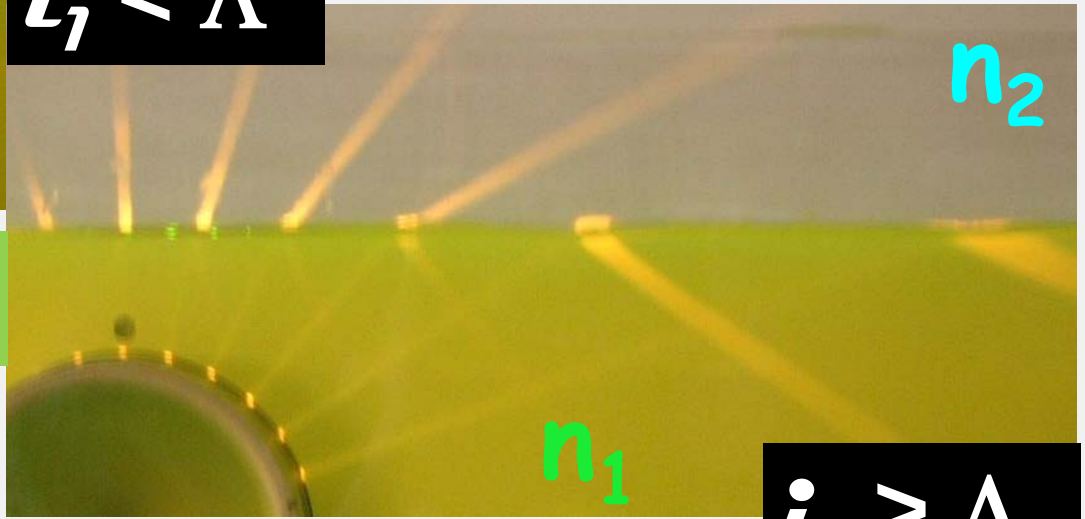


$i_1 < \Lambda$

$\sin \Lambda = n_2 / n_1$

Réflexion totale

$n_1 > n_2$



$i_1 > \Lambda$

Exercice 1 :

Lumière émise par un plongeur
Réponse

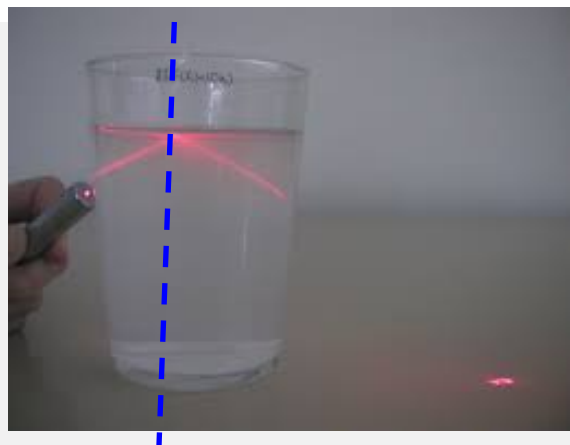
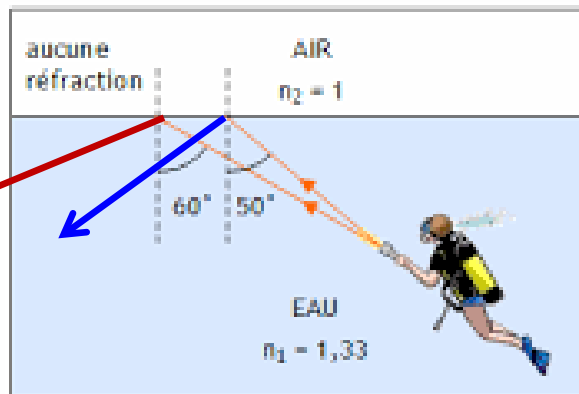
Exercices d'application :

Conseil : Calculer l'angle d'incidence limite et le comparer aux angles d'incidence 50 et 60°.

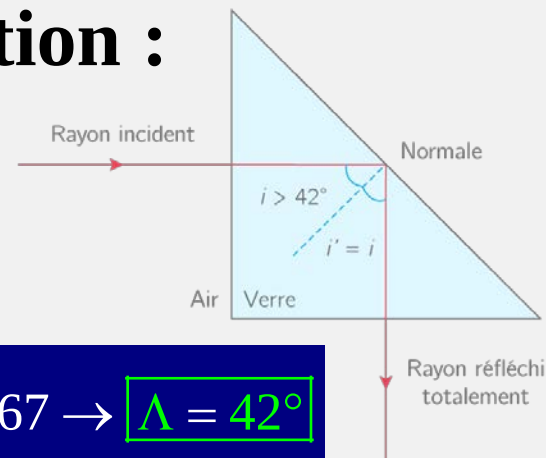
$$\sin \Lambda = \frac{n_0}{n_{\text{eau}}} = \frac{1}{1,33} = 0,75 \rightarrow \Lambda = 48,59^\circ$$

à l'angle d'incidence limite θ_{lim} .

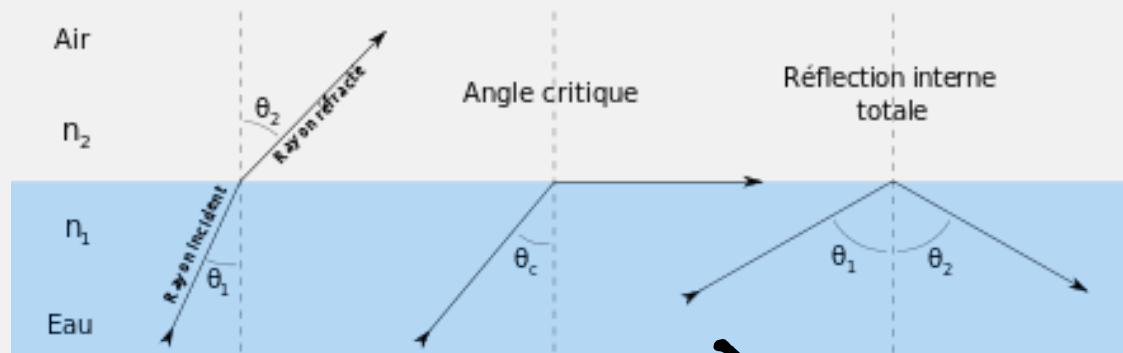
La lumière ne peut pas parvenir à l'air libre.



Exercice 2 :



$$\sin \Lambda = \frac{n_0}{n_{\text{verre}}} = \frac{1}{1,5} = 0,67 \rightarrow \Lambda = 42^\circ$$

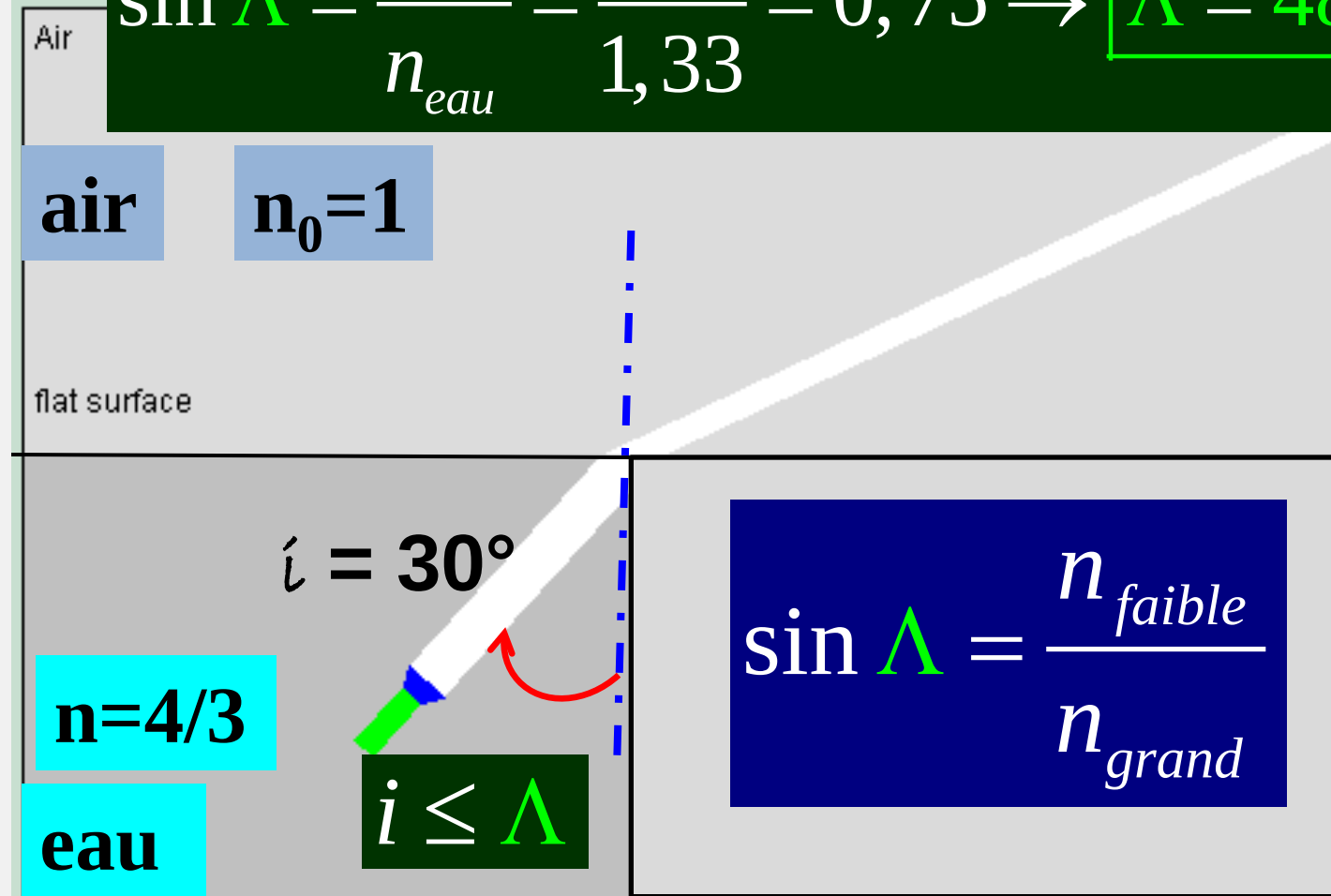


$\theta_{\text{incidence}} < \theta_{\text{critique}}$ Réfraction	$\theta_{\text{incidence}} = \theta_{\text{critique}}$ Angle critique	$\theta_{\text{incidence}} > \theta_{\text{critique}}$ Réflexion totale interne
Milieu moins dense	Milieu moins dense	Milieu moins dense
Milieu plus dense	Milieu plus dense	Milieu plus dense

Rappel

Angle de réfraction limite

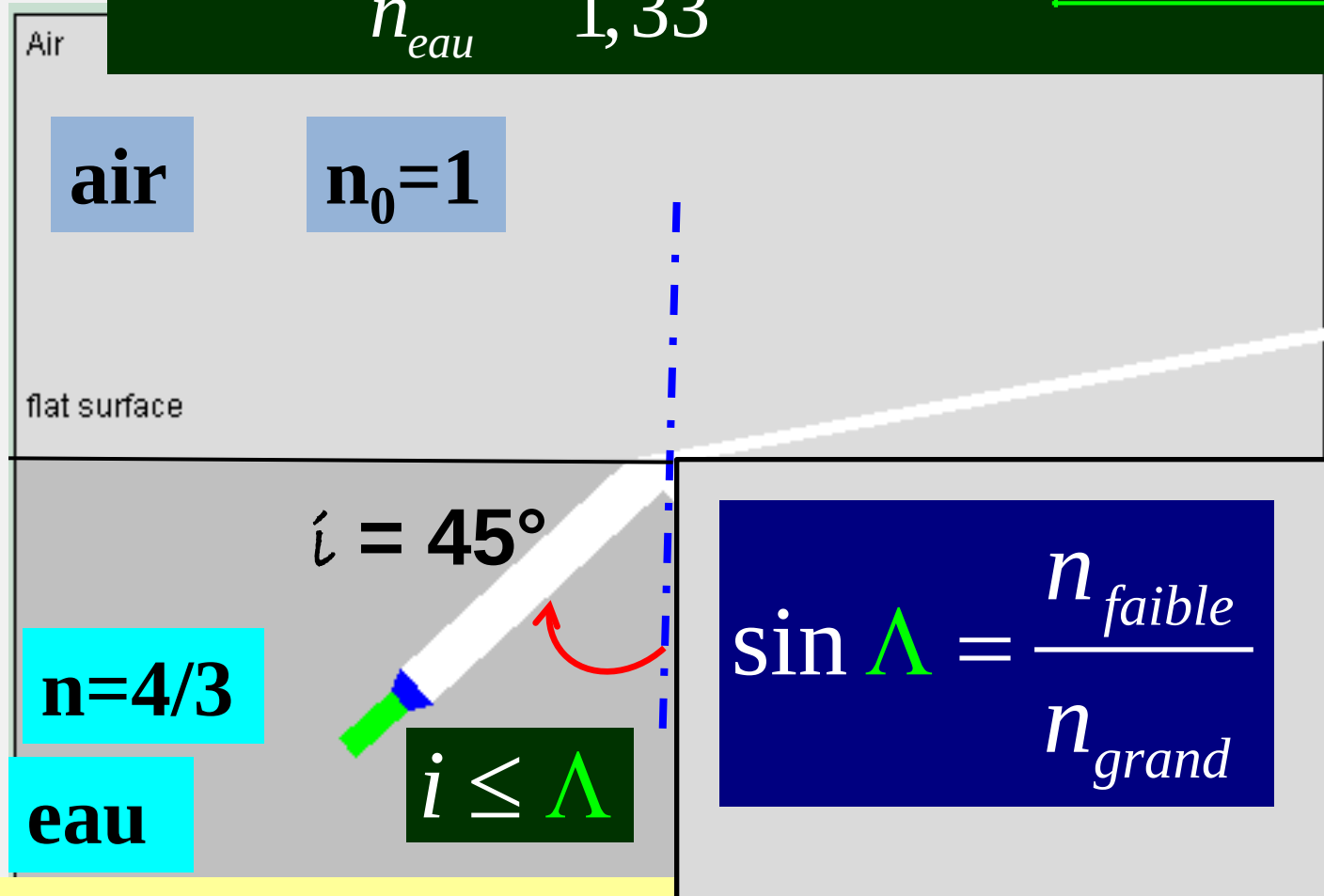
$$\sin \Lambda = \frac{n_0}{n_{\text{eau}}} = \frac{1}{1,33} = 0,75 \rightarrow \boxed{\Lambda = 48,59^\circ}$$



Il y a une réfraction de la lumière

Angle de réfraction limite

$$\sin \Lambda = \frac{n_0}{n_{\text{eau}}} = \frac{1}{1,33} = 0,75 \rightarrow \boxed{\Lambda = 48,59^\circ}$$



Il y a une réfraction de la lumière

Angle de réfraction limite

air

$n_0=1$

$$\sin \Lambda = \frac{n_0}{n_{\text{eau}}} = \frac{1}{1,33} = 0,75 \rightarrow \boxed{\Lambda = 48,59^\circ}$$

flat surface

$$\sin \Lambda = \frac{n_{\text{faible}}}{n_{\text{grand}}}$$

$i > 50^\circ$

$n=4/3$

eau

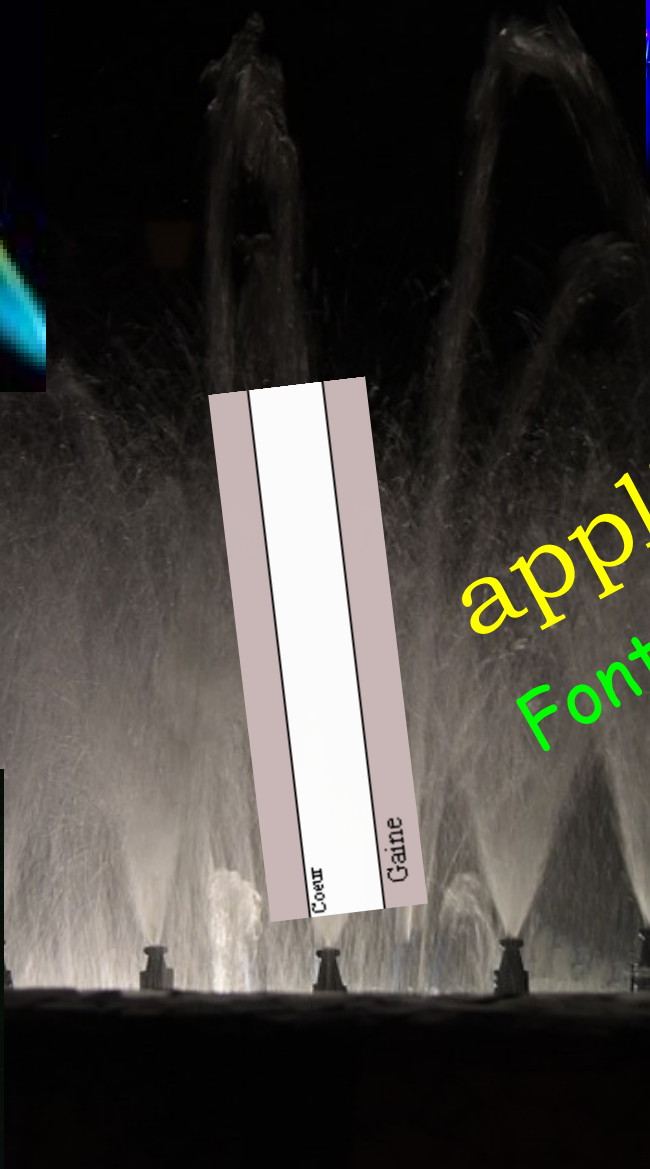
$i > \Lambda$

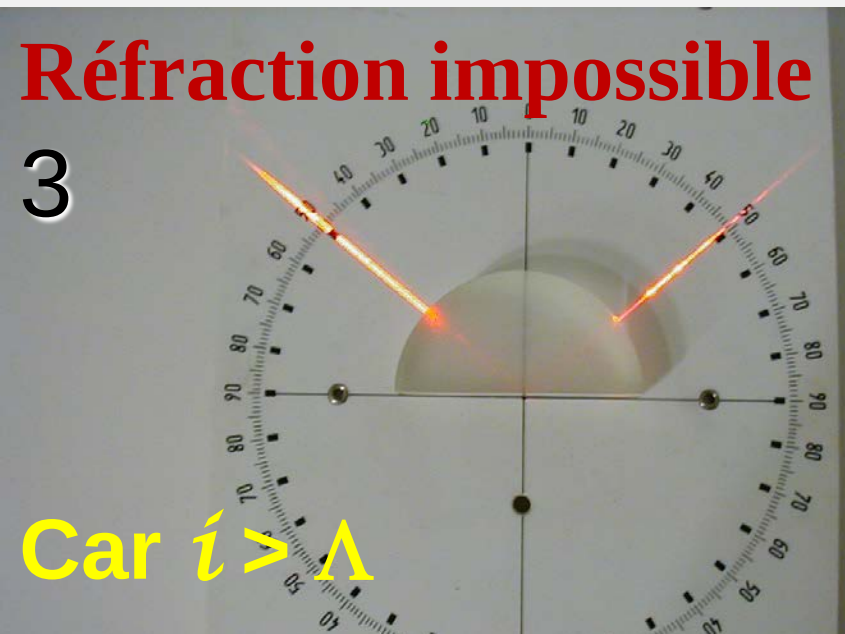
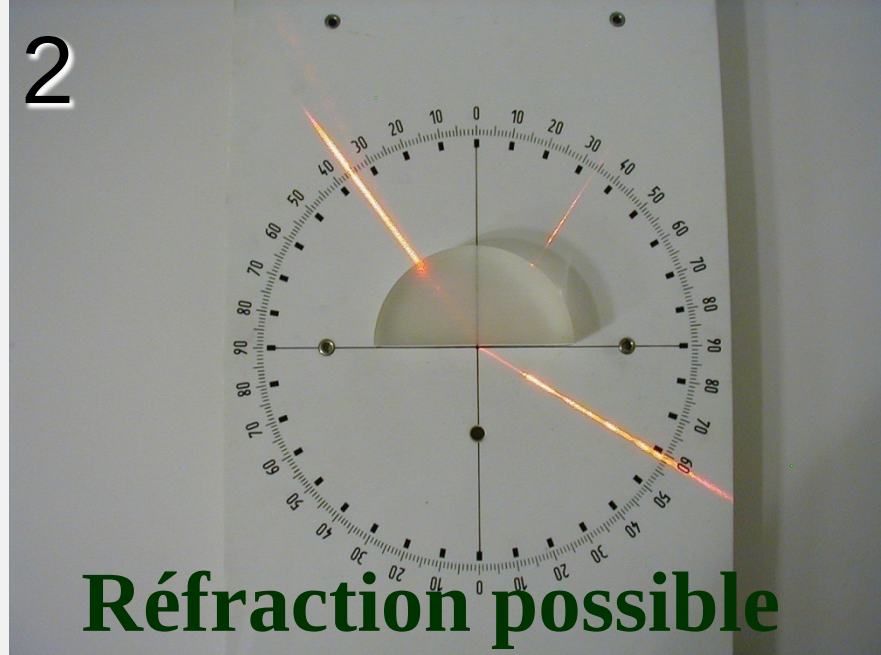
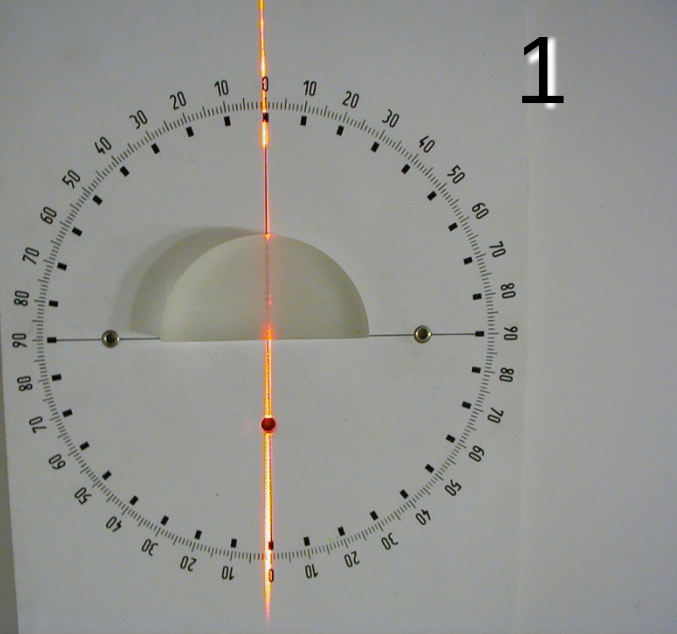
Il n'y a plus de réfraction de la lumière mais une réflexion totale

$$\sin \Lambda_{\text{eau-air}} = \frac{n_0 = 1}{n_1 = \frac{4}{3}} = \frac{3}{4} = 0,75 \Rightarrow \Lambda_{\text{eau-air}} = 48^{\circ},59$$

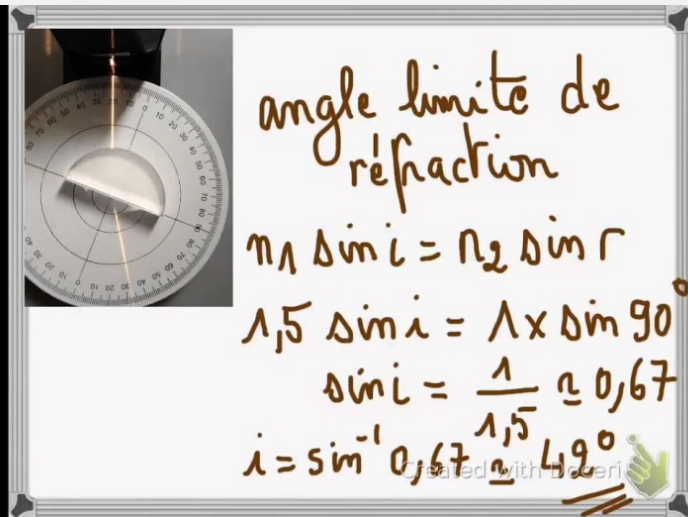


application
Fontaine lumineuse





Exemple : verre-air

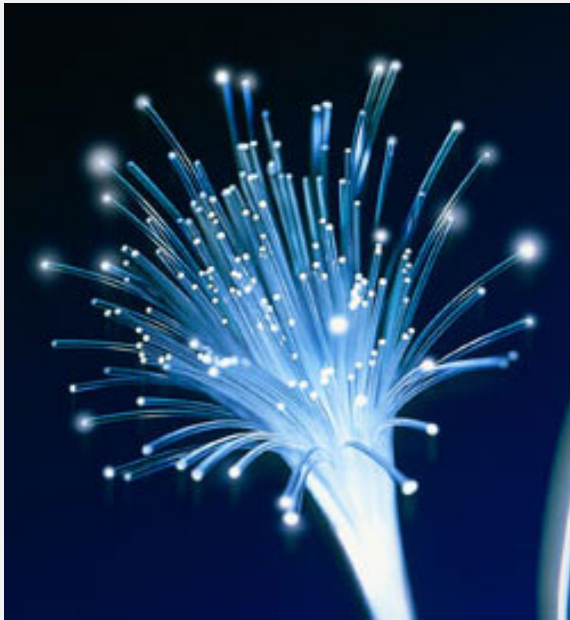


$$\Lambda = 42^\circ$$

Réflexion totale

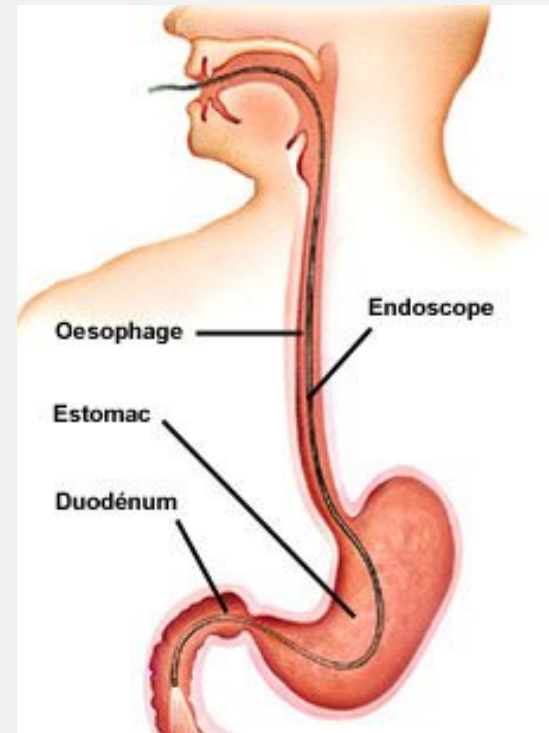
Le phénomène de la **réflexion totale** est utilisé pour canaliser la lumière, par exemple dans les **fontaines lumineuses** ou dans les **fibres optiques**, **l'endoscopie**, fibroscopie .

Télécommunication :
fibres optiques



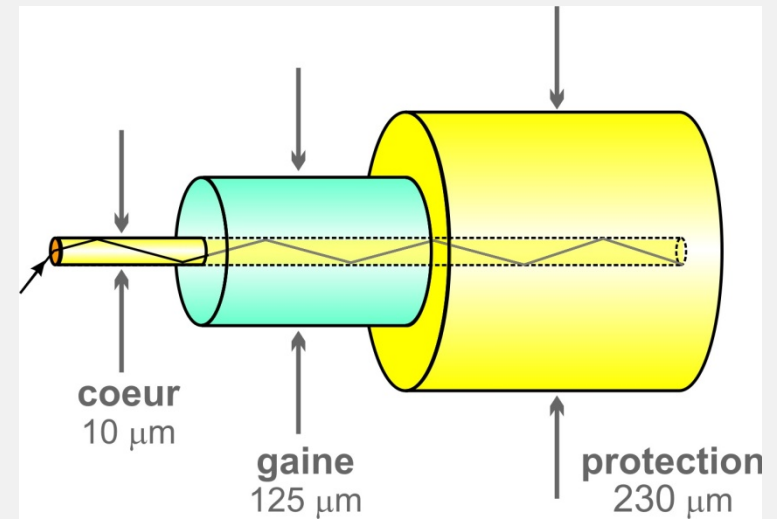
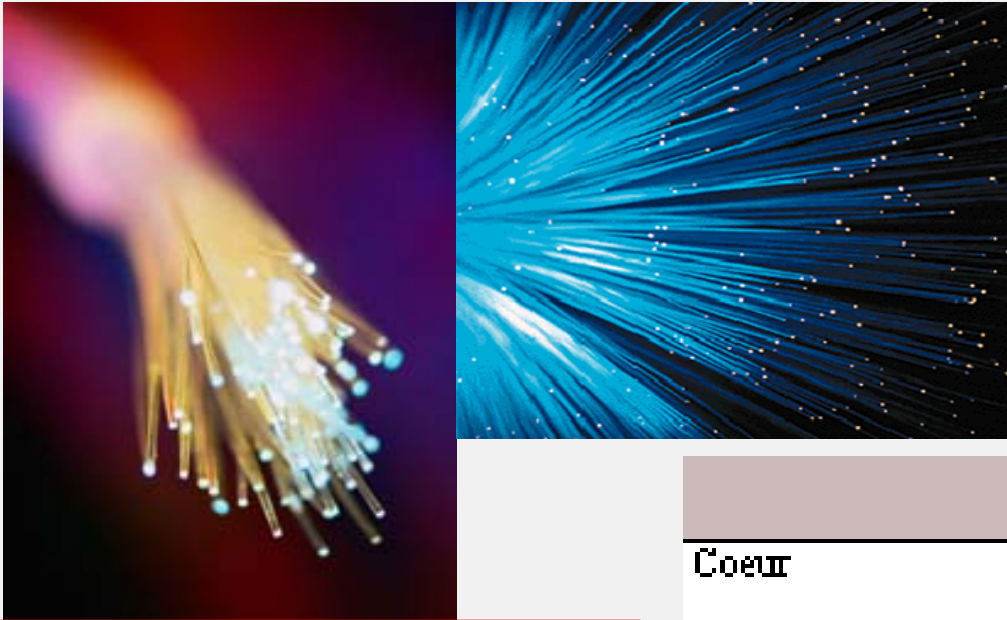
$$\sin \Delta_{\text{eau-air}} = \frac{n_0}{n_1} = \frac{1}{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3} = 0,67 \Rightarrow \Delta_{\text{eau-air}} = 42^\circ$$

Réfraction limite



La santé

L'étude du cheminement d'un rayon lumineux issu de l'axe montre que le rayon revient vers l'axe, en étant réfracté par les couches successives de la fibre.



Coeur

Voir TD série 1

Gaine