# S1- Optique Géométrique

Chapitre 1 – Optique géométrique hypothèses et lois de Descartes

Chapitre 2 – Traversée de dioptres successifs

Chapitre 3 – Dioptres sphériques et relation de conjugaison

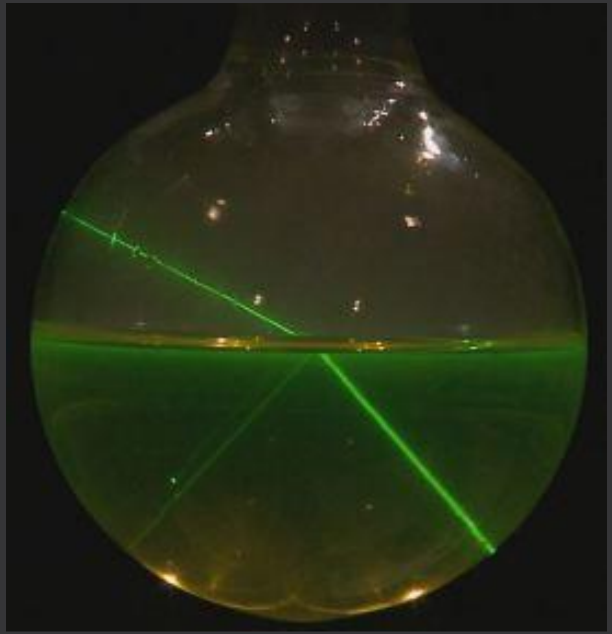
Chapitre 4 – Les lentilles minces

Chapitre 5 – Quelques applications simples

9 séances cours/TD
1 poly
1 TP
2 CC

Régis Henrion -UPEM

# 1 – Propagation de la lumière et principes de base



# Sommaire

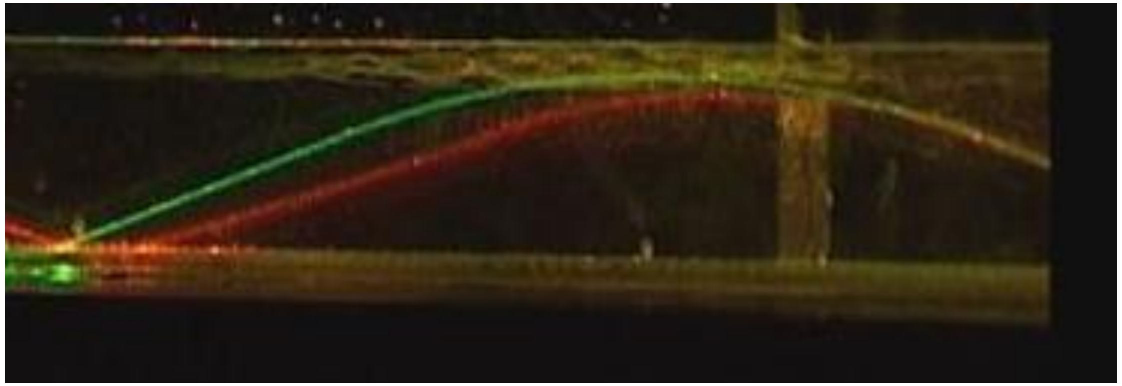
- **Propagation dans un milieu homogène ou un milieu inhomogène**
- **Notions de base**
  - **« le rayon lumineux »**
  - **Vocabulaire**
- **Principe du retour inverse**
- **Indice de réfraction**
- **Propagation à la séparation de deux milieux homogènes**
  - **Vocabulaire**
  - **Loi de la réflexion**
  - **Loi de la réfraction**
- **Cas remarquables**
  - **Angle de réfraction limite**
  - **Observation de la réflexion totale**

# 1. Propagation dans un milieu homogène ou un milieu inhomogène

**Dans un milieu <u>transparent homogène</u>, la lumière se propage en <u>ligne droite</u>.**

**Dans un milieu <u>transparent inhomogène</u>, la lumière a une <u>trajectoire curviligne</u>.**

Un milieu transparent est dit « **homogène** » si son **indice de réfraction** est **constant.**

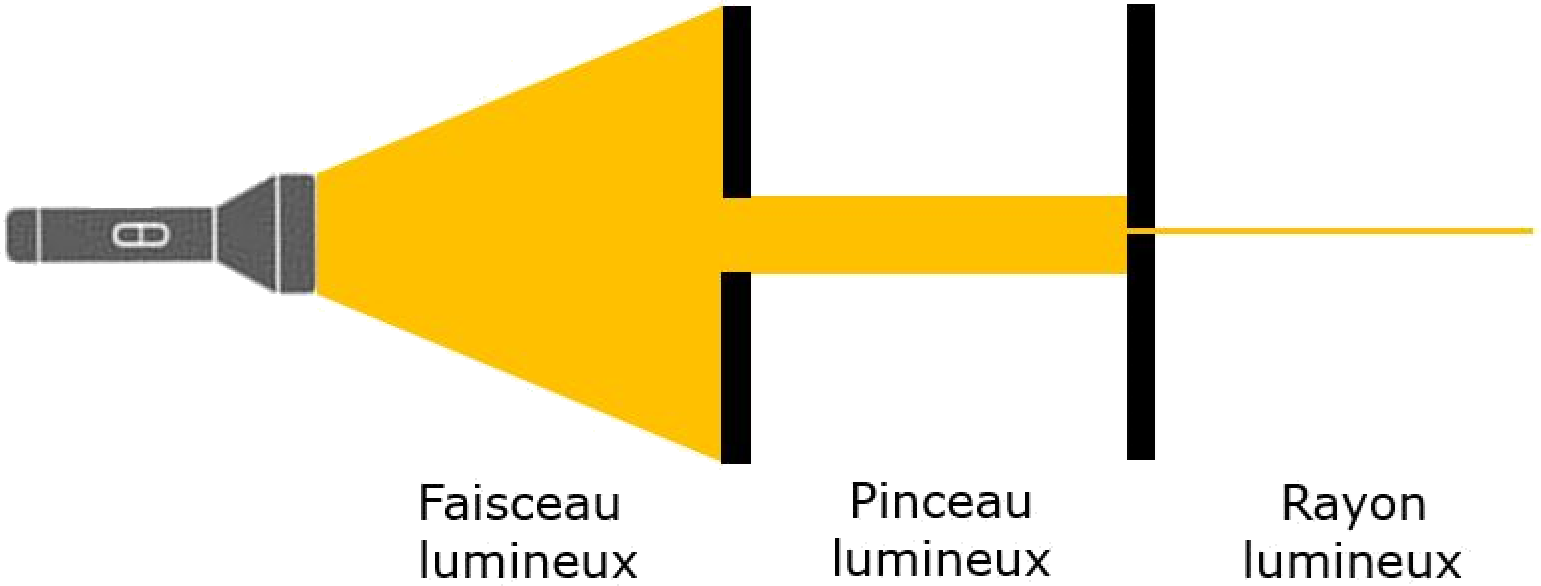


# 2. Notions de base

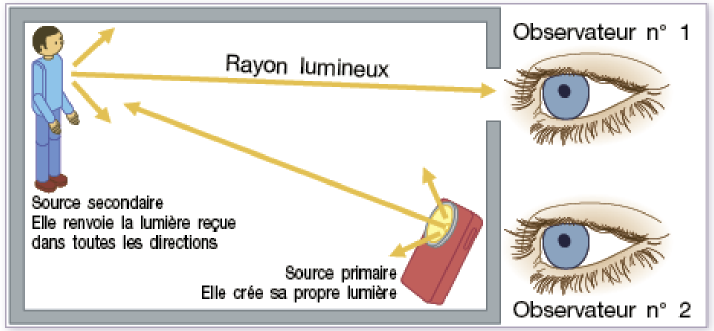
**Hypothèse de l'optique géométrique :**

**La lumière est un ensemble de rayons lumineux indépendants:**

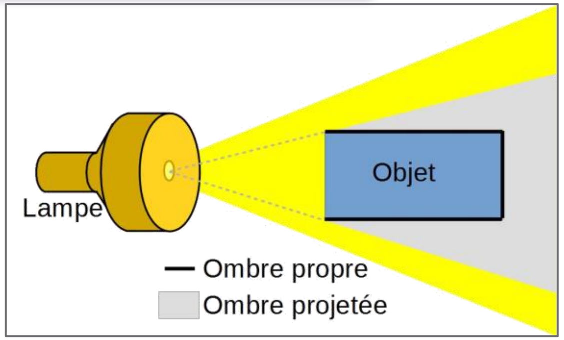
- **La propagation d'un rayon n'est pas affecté par celle des autres,**
- **Deux rayons se superposent et additionnent leurs intensités.**

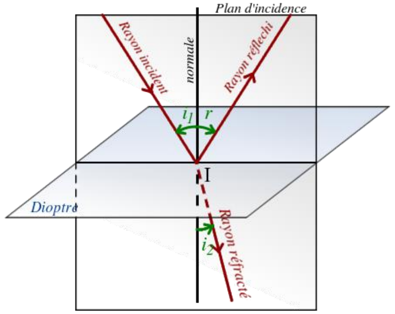


# Remarques:

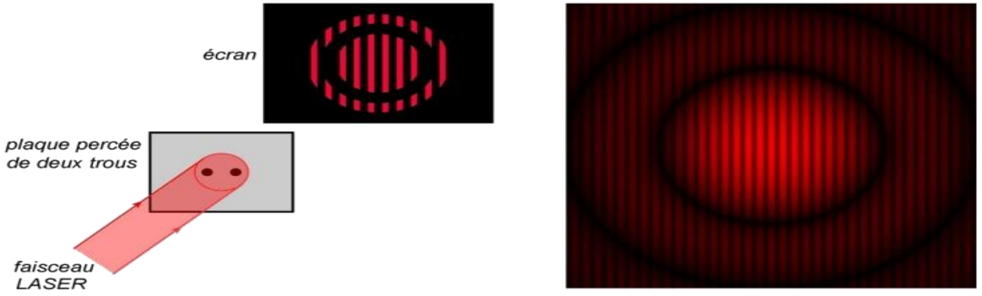



- **Le modèle du rayon lumineux permet:**
  - De rendre compte de la condition de visibilité d'un objet (ombres, pénombre, etc.)
  - Des lois de Snell-Descartes
  - Des mirages



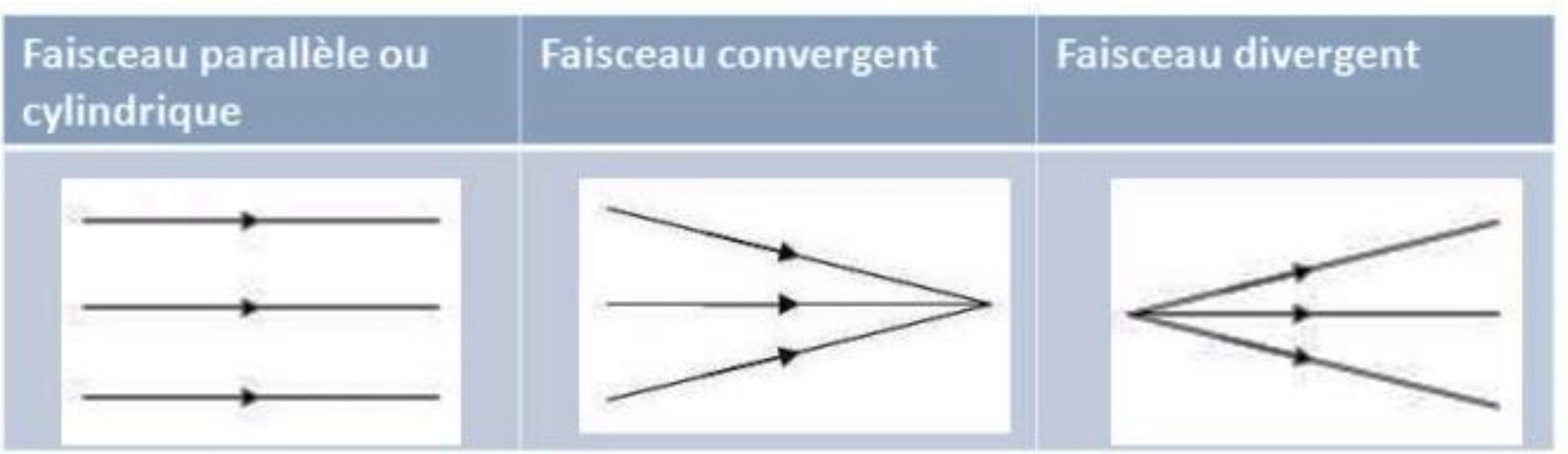

- **Mais sa validité a une limite:**
  - On ne peut isoler un rayon lumineux ➔Diffraction
  - Les intensités ne s'additionnent pas toujours ➔Interférences




Expérience des trous de Young

# Vocabulaire

- **Rayon incident**, Rayon **émergent** (voir Lois SD)
- **Faisceau** : ensemble de rayons de largeur finie, parallèle, divergent ou convergent, issus d'UN point source.
- Un **rayon** est **orienté** selon le sens de propagation.

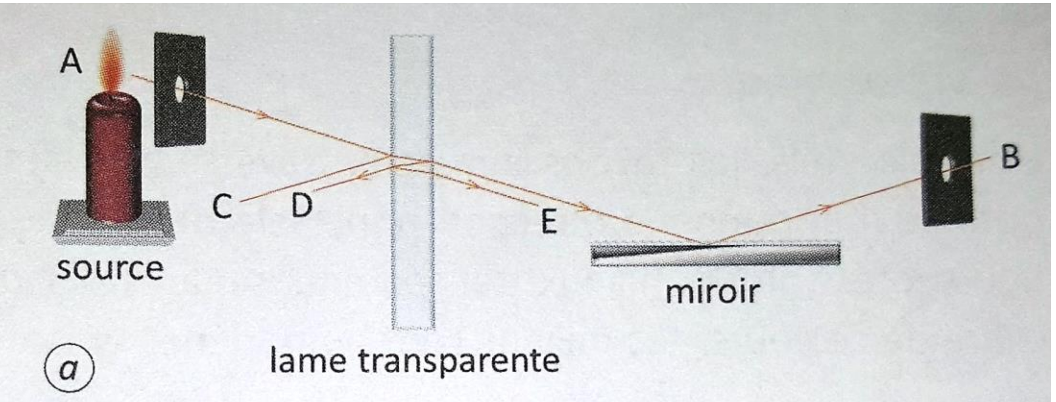


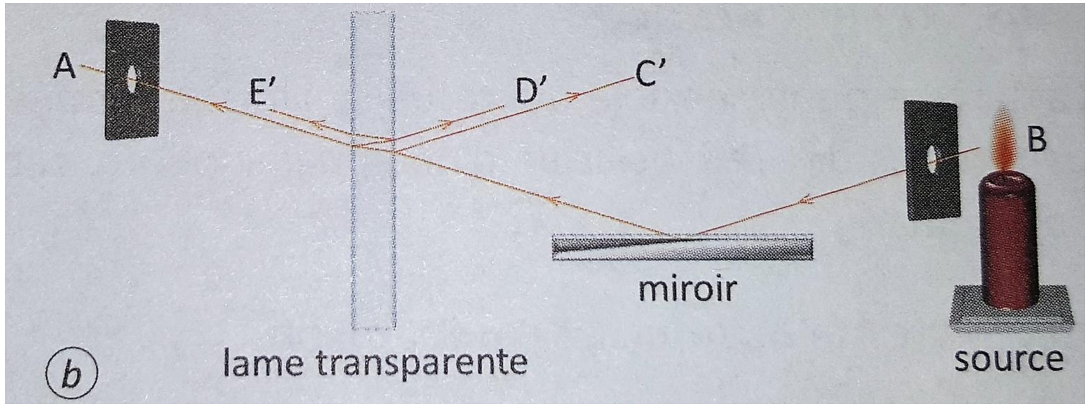
# 3. Principe du retour inverse de la lumière

**Tout trajet suivi par la lumière dans un sens peut également être suivi dans le sens inverse.**

**Faire expérience** : i = 60°.

**Remarques**:
Autrement dit, si un point A éclaire un point B, une source en B éclairera le point A.
Cela ne dit rien de la répartition des intensités lumineuses.



# 4. Indice de réfraction

**<u>Dans le vide</u>**, **<u>la lumière</u>** se propage en ligne droite, à une **<u>vitesse $c_0$</u>**, indépendante de sa couleur. Son intensité se conserve.

**<u>Dans un milieu transparent, homogène et isotrope</u>**, **<u>la lumière</u>** se propage en ligne droite à une **<u>vitesse c, inférieure</u>** à $c_0$.

**<u>Le rapport</u>** de ces deux vitesses est appelé **<u>indice de réfraction</u>**, il dépend en général de la longueur d'onde. L'intensité lumineuse décroit au cours de la propagation.

$$\boldsymbol{n(\lambda) = \frac{c_0}{c(\lambda)}}$$

**<u>Célérité</u>** de la lumière dans **le vide** : $c_0 = 299\,792\,458\ \mathrm{m.s^{-1}}$ (par convention !).

# Remarques:

- Plus **l’indice** est **élevé**, plus le **milieu** est **réfringent** (se rapproche de la normale):

| | |
|---|---|
| Air | 1.00 |
| Eau | 1.33 |
| Glycérine | 1.47 |
| Pyrex | 1.47 |
| Diamant | 2.42 à 2.75 |

- Un **milieu** transparent est **isotrope** si son **indice ne dépend pas** de la **direction de propagation**.
- Lorsque **l’indice dépend de la longueur d’onde** de la lumière, le **milieu** est dit **dispersif** (le verre..).

Lien pyrex

# Influences du matériau, de la longueur d’onde et de la température

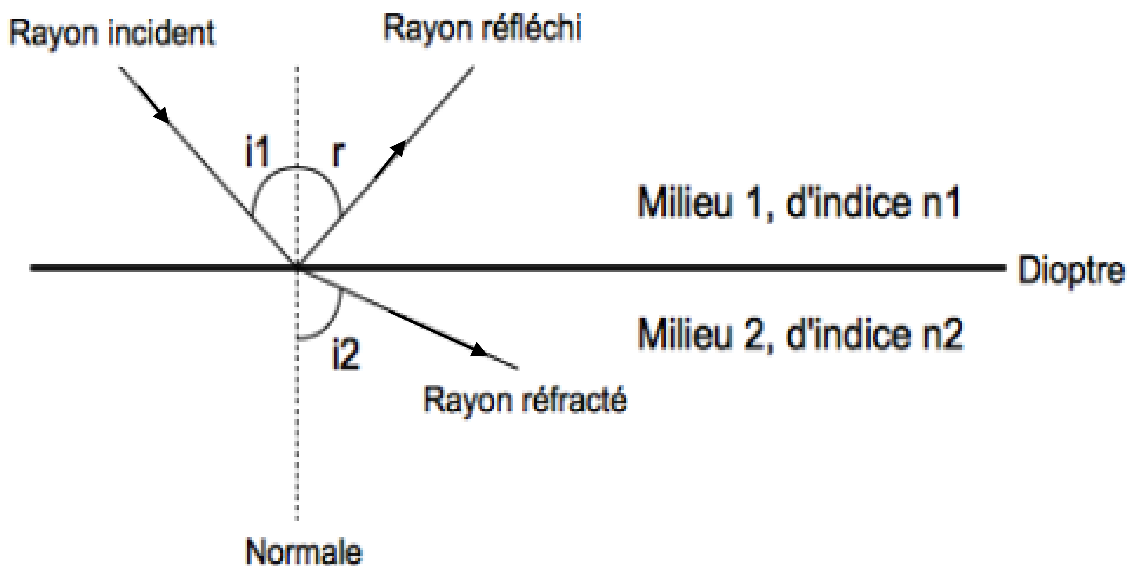
| Substance (à 20 °C) | eau | verre crown | verre flint lourd | diamant |
|---|---|---|---|---|
| 0,486 mm raie bleue de l’hydrogène | 1,338 | 1,523 | 1,919 | 2,435 |
| 0,589 mm raie jaune du sodium | 1,333 | 1,517 | 1,890 | 2,417 |
| 0,656 mm raie rouge de l’hydrogène | 1,331 | 1,514 | 1,879 | 2,410 |
| Variation pour 1°C | $- 9.10^{-5}$ | $+1.10^{-6}$ | $+6.10^{-6}$ | $+1,9.10^{-6}$ |

# 5. Lois de Snell-Descartes

- Les **rayons incident, réfléchi et transmis** (réfracté) sont situés dans le **plan d'incidence** contenant la normale au dioptre et le rayon incident.
- **Loi de la réflexion : $i_1 = r$**
- **Loi de la réfraction:**

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

Anim



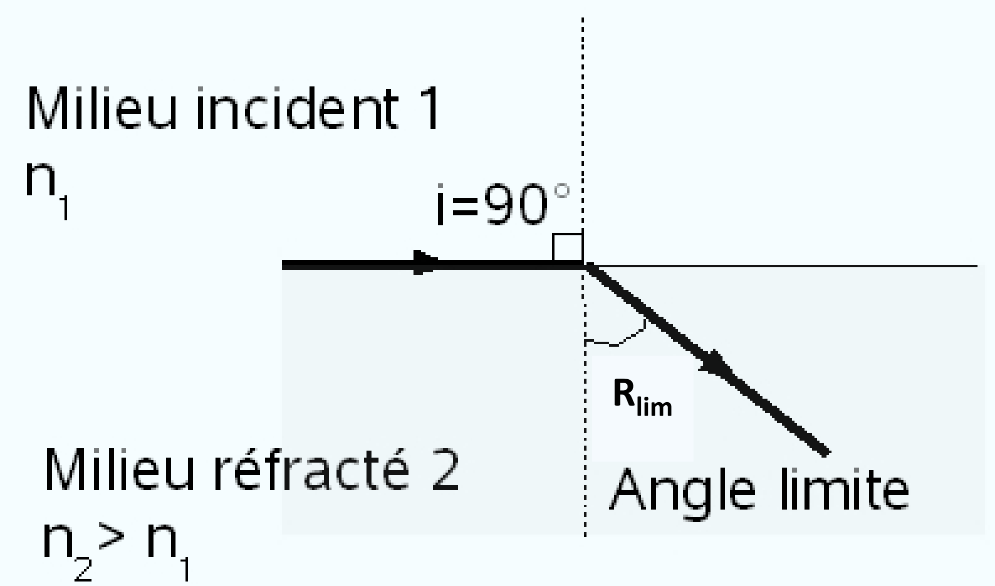

On appelle un **dioptre**, la surface qui sépare deux milieux d'indices différents.

# 6. Cas remarquables

**L'angle de réfraction limite**:

Lors du **<u>passage</u>** d'un milieu peu réfringent à un milieu plus réfringent (**<u>$n_1<n_2$</u>**), il existe un **angle réfracté limite** donné par :

$$r_{lim} = arcsin(\frac{n_1}{n_2})$$



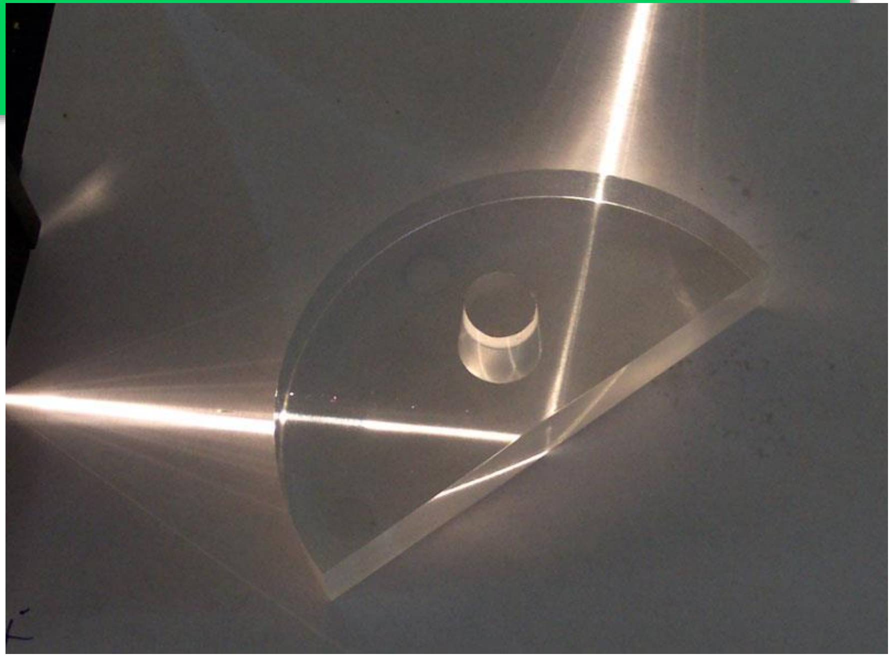

<u>Application</u> : le réfractomètre universel d'Abbe

Lien

**L'ange de réflexion totale:**

Lors du **passage** d'un milieu très réfringent à un milieu moins réfringent (**$n_2<n_1$**), il existe un angle incident limite pour lequel il n'y a plus de rayon réfracté, le rayon incident est donc totalement réfléchi, on parle **d'angle de réflexion totale**:

$$\boldsymbol{i_{total} = arcsin(\frac{n_2}{n_1})}$$



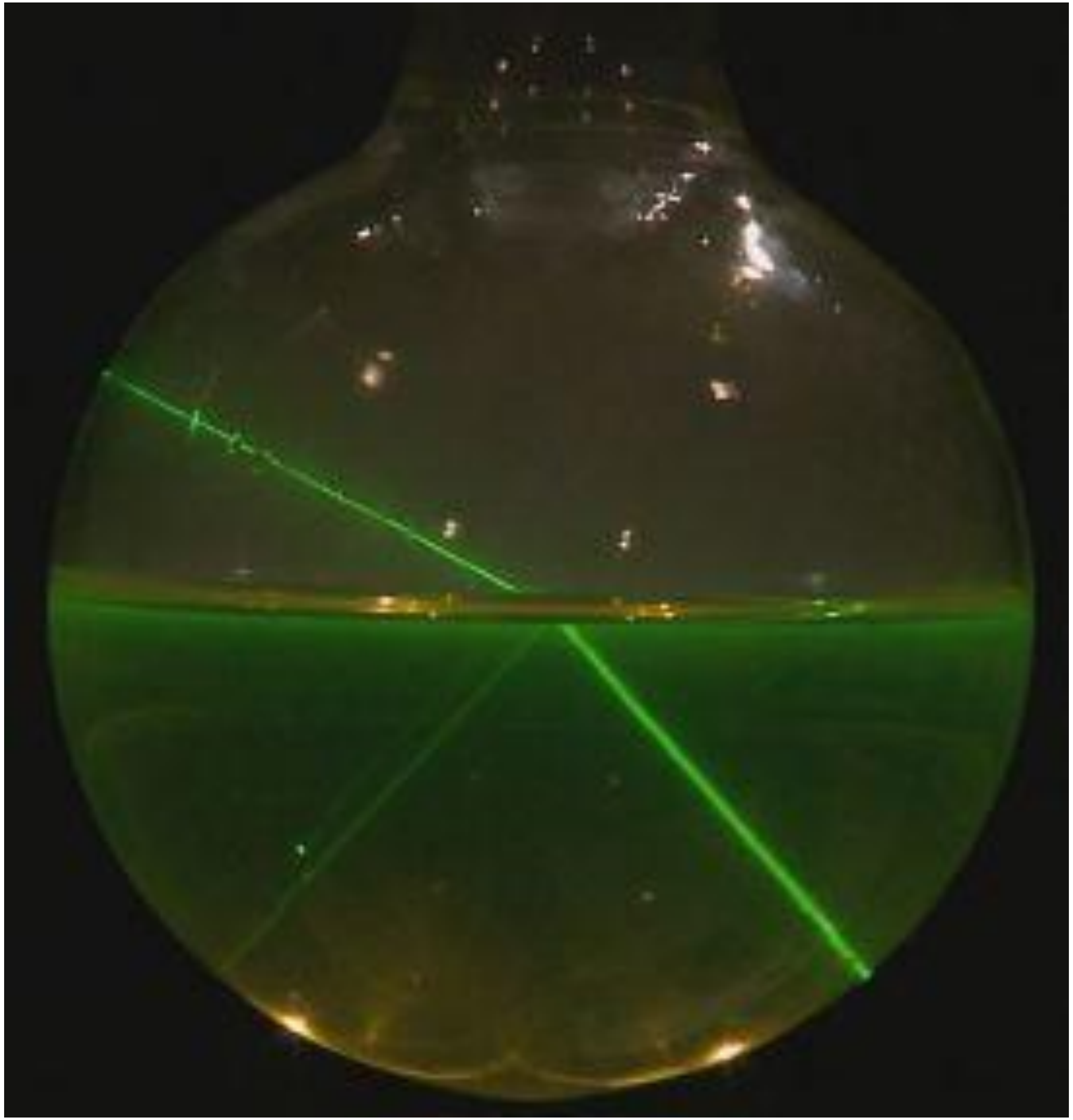
Applications : la fibre optique, endoscopie, etc.

Remarques :

1. 2 milieux transparents peuvent produire un miroir.
2. L'angle de réfraction limite dans le 1er cas devient l'angle au-delà duquel il y a réflexion total dans le 2nd cas.

# Rayon captif ?

Vidéo

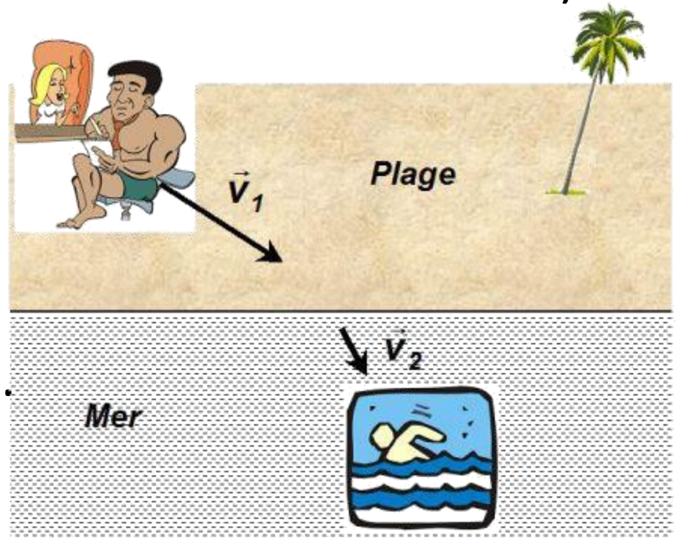


# BONUS : Principe de Fermat et problème du/de la maitre-nageur

**Pierre de <u>Fermat</u>** (mathématicien et physicien français, 1601-1665) postula que les rayons lumineux répondaient à un **<u>principe</u> très général** selon lequel **<u>le chemin emprunté par la lumière pour se rendre d'un point donné à un autre était celui pour lequel le temps de parcours était</u>** minimum (en fait un **<u>extremum</u>** qui peut être un minimum ou un maximum).

Pb : Un maître nageur, situé en un point A d'une plage, souhaite appliquer ce principe afin de porter secours le plus rapidement possible à un vacancier (situé en B) sur le point de se noyer à quelques brasses du bord de mer.

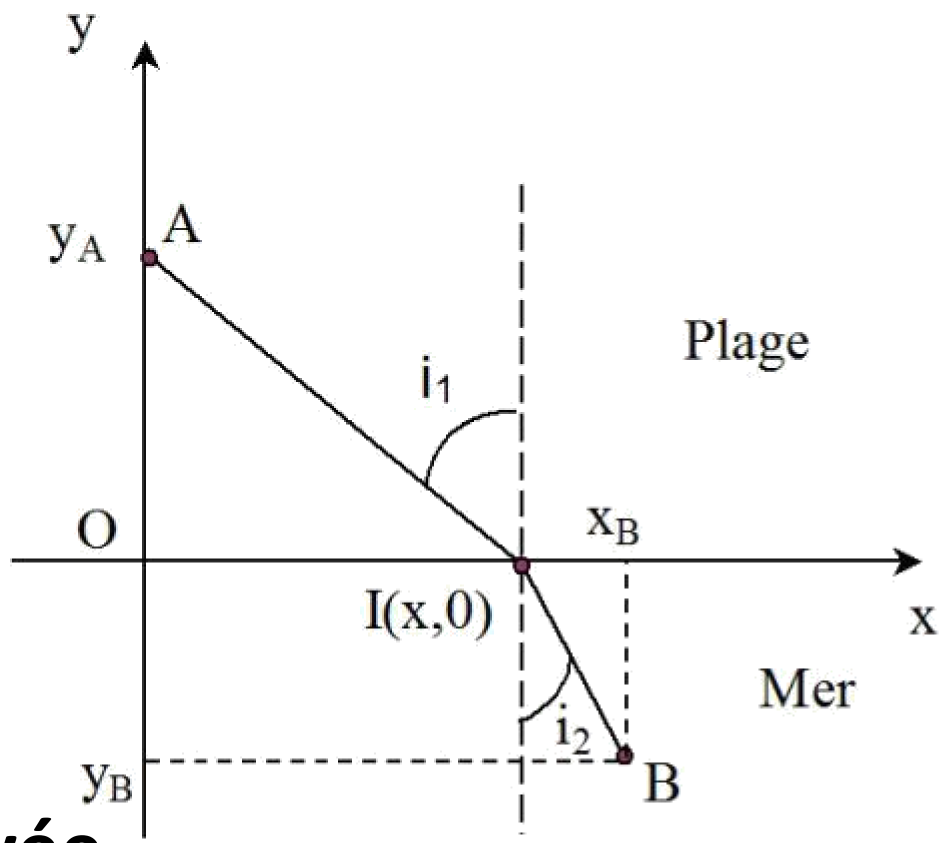
On note $\overrightarrow{v_1}$ et $\overrightarrow{v_2}$ les vecteurs vitesses (supposés constants) du maître nageur sur la plage (lorsqu'il court) et dans l'eau (où il nage).




**Quel doit être le chemin suivi par le maître nageur afin que le principe de Fermat soit vérifié et le vacancier sain et sauf ?**

**Quel rapport avec l'optique?**

- **Schéma**
- **Choix d'un système de repérage et identification des grandeurs pertinentes**
- **Expression du temps du parcours**
- **Expression de la dérivée**
- **Résolution de l'annulation de la dérivée**
- **Intégration des sinus des angles**
- **Contrainte sur les angles**



Le temps T mis pas le maître nageur pour aller de A à B est alors :

$$T = \frac{AI}{v_1} + \frac{IB}{v_2}$$

En développant les valeurs de AI et IB, on obtient la dépendance suivante de T = T(x) en fonction de l'abscisse x de I :

$$T(x) = \frac{\sqrt{x^2 + y_A^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(x_B - x)^2 + y_B^2}}{v_2}$$

L'extremum de T(x) est atteint lorsque sa dérivée par rapport à x est nulle. Or :

$$\frac{dT}{dx} = \frac{1}{v_1}\frac{x}{\sqrt{x^2 + y_A^2}} - \frac{1}{v_2}\frac{(x_B - x)}{\sqrt{(x_B - x)^2 + y_B^2}}$$

En remarquant que :

$$\frac{x}{\sqrt{x^2 + y_A^2}} = \frac{x}{AI} = \sin(i_1)$$

Et :

$$\frac{(x_B - x)}{\sqrt{(x_B - x)^2 + y_B^2}} = \frac{(x_B - x)}{IB} = \sin(i_2)$$

$$\frac{1}{v_1}\sin(i_1) = \frac{1}{v_2}\sin(i_2)$$

Il suffit que les angles d'incidence et de réfraction remplissent cette condition pour que le chemin parcouru par le maître nageur soit effectivement celui qui prend le moins de temps.