

# Département de Physique

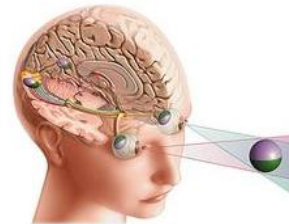
## Filière SMPC : Semestre 2



# Cours d'optique géométrique

## Abdelhai Rahmani

De l'œil au cerveau



Année universitaire 2019-2020

# QU'EST CE QUE L'OPTIQUE ?

L'optique est la branche de la physique qui étudie tout ce qui concerne la lumière et les phénomènes analogues, même lorsque ceux-ci ne sont pas directement visible par l'œil.

On distingue en général:

l'optique géométrique  
(étude des rayons lumineux et la formation des images par un instrument d'optique)

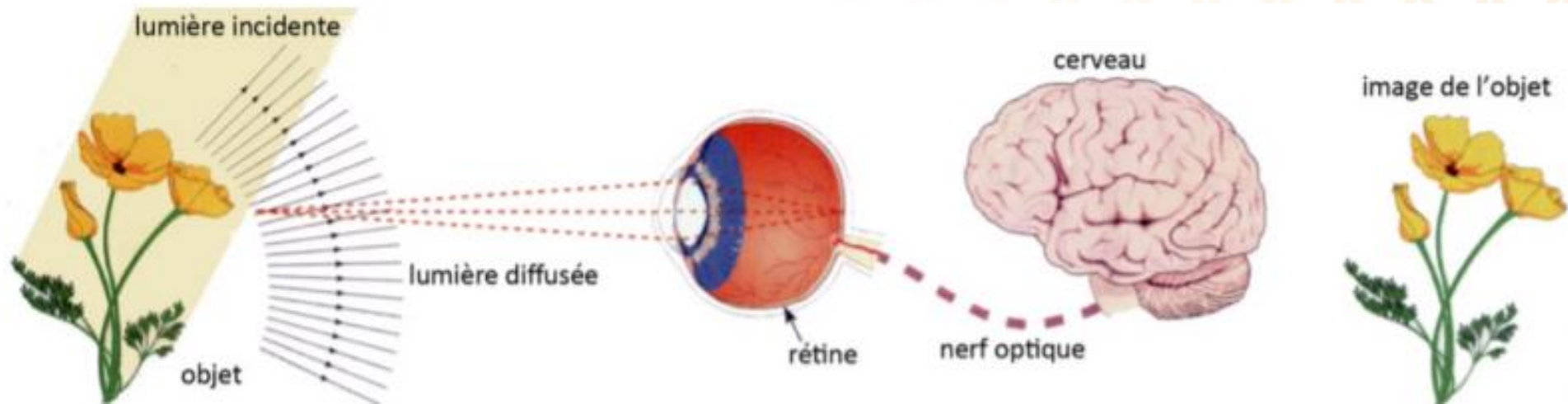
l'optique physique  
(nature ondulatoire de la lumière)

Domaines d'application

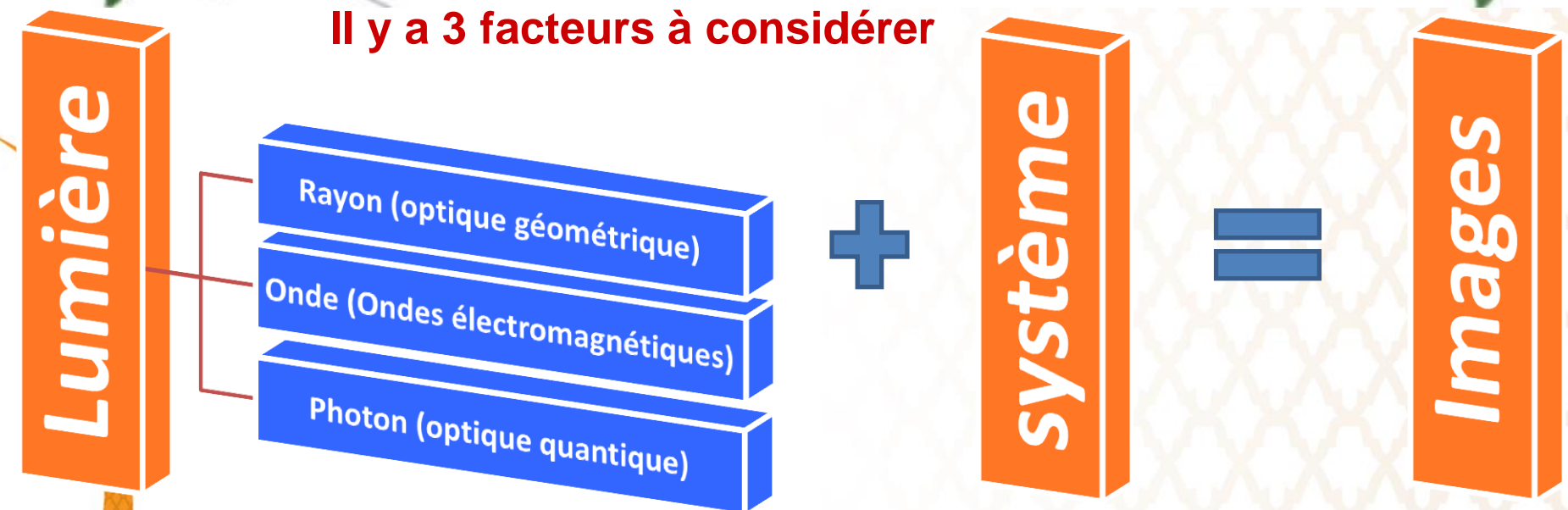
- Perception du monde qui nous entoure (formation des images).
- Instruments d'optiques (jumelles, télescope, microscope, ...).
- Propagation d'information via la lumière (fibre optique).
- Sources lumineuses (laser, lampe Sodium, ...).
- Détecteurs (Caméra IR, photodétecteur, matériaux Semi-conducteurs).

# QU'EST CE QUE L'OPTIQUE ?

Science qui traite de la lumière, du rayonnement électromagnétique à la vision, en passant par les systèmes utilisant ou émettant de la lumière.



**Il y a 3 facteurs à considérer**



## Introduction :

- Bref historique
- Nature et propriétés de la lumière

## Bases de l'optique géométrique :

- Approximation de l'optique géo.
- Les trois principes de l'optique géo.
- Notion de rayon lumineux
- Les lois de Snell-Descartes

## Systemes optiques :

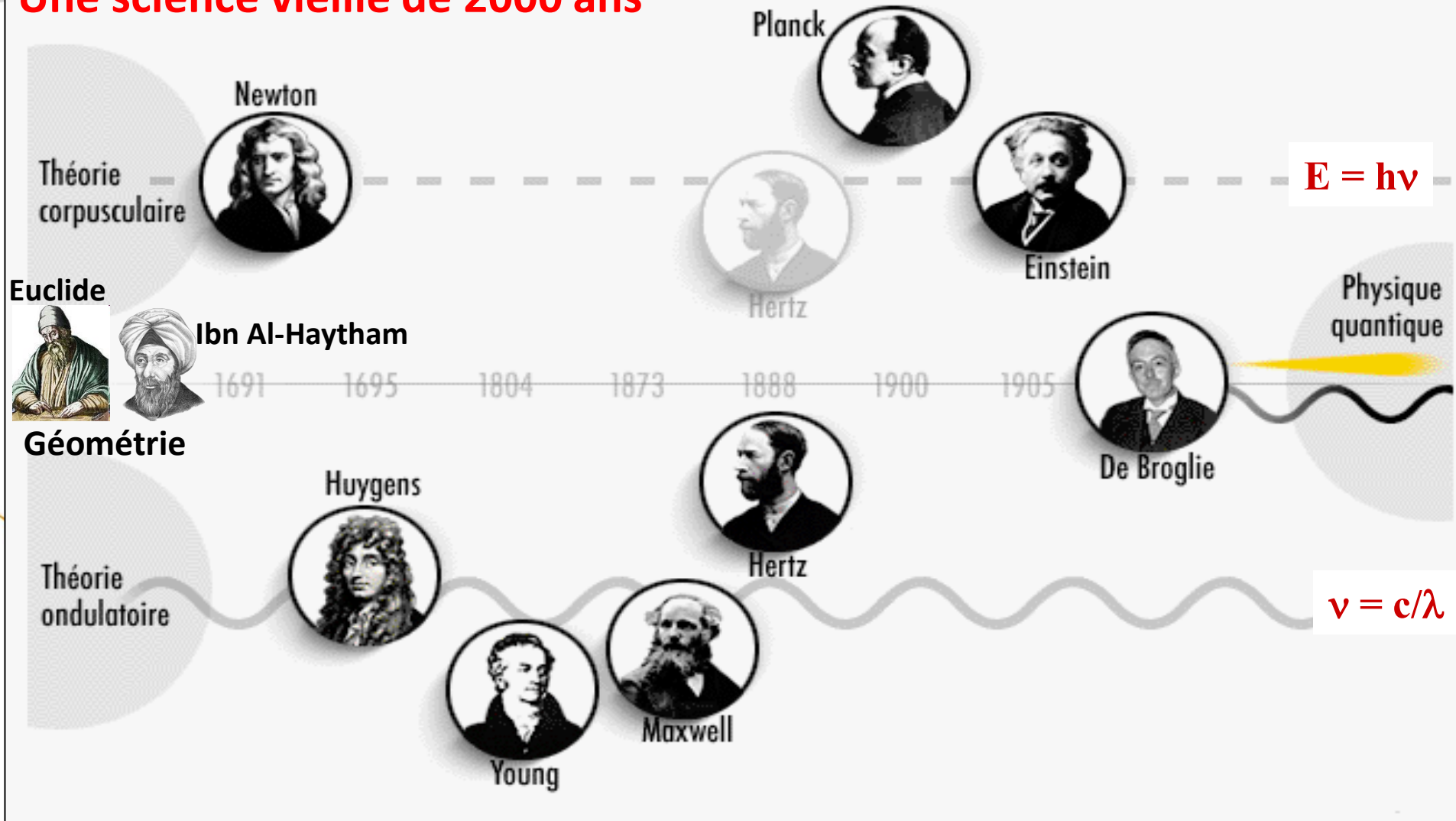
- Dioptries et miroirs plans
- Dioptries et miroirs sphériques
- Lentilles épaisses
- Lentilles minces (constructions et formules)

## Instruments d'optique :

- Grandeurs caractéristiques (Grossissement, Puissance, Champ ...)
- Modèle simplifié de l'œil
- La loupe
- Le microscope

# Bref historique sur l'optique et la nature de la lumière

## Une science vieille de 2000 ans





***EUCLIDE mathématicien grec (4<sup>e</sup> - 3<sup>e</sup> avant J.-C) : phénomène de la réflexion et notion de rayon lumineux.***



***Ibn Al-Haytham physicien arabe (10<sup>e</sup>-11<sup>e</sup>) a attribué à la lumière une origine extérieure à l'œil. Il travaillait sur la réfraction de la lumière, concept d'image, formation des images /l'œil.***



***GALILEE (16<sup>ième</sup> -17<sup>ième</sup>) fabrication des premières lunettes. Observations de taches à la surface du Soleil, mise au point d'un microscope.***



***DESCARTES (17<sup>e</sup>) modélisation corpusculaire de la lumière et formulation mathématique des lois de l'optique.***



***FERMAT (fin 17<sup>e</sup>) principe de moindre temps. Vitesse de la lumière plus petite dans les milieux matériels que dans l'air ce qui est en contradiction avec l'expérience.***

# MODÈLE ONDULATOIRE



**HUYGENS (17<sup>e</sup>) propose une théorie ondulatoire permettant de retrouver les résultats de l'optique géométrique et compatible avec une vitesse de la lumière plus faible dans les milieux matériels que dans l'air. Il découvrit Titan un satellite de Saturne.**



**YOUNG (début du 19<sup>ième</sup>) : En 1801, il fait passer un faisceau de lumière à travers deux fentes parallèles, et le projette sur un écran. La lumière est diffractée au passage des fentes et produit sur l'écran des franges d'interférence.**



**FRESNEL (début du 19<sup>ième</sup>) : En 1815, Fresnel, pose les bases de la théorie ondulatoire. Réalisation d'expériences sur la diffraction de la lumière.**



**MAXWELL : la lumière est une onde électromagnétique se propageant à une vitesse  $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$  dans le vide (en fait il mesure expérimentalement  $3,1.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ).**



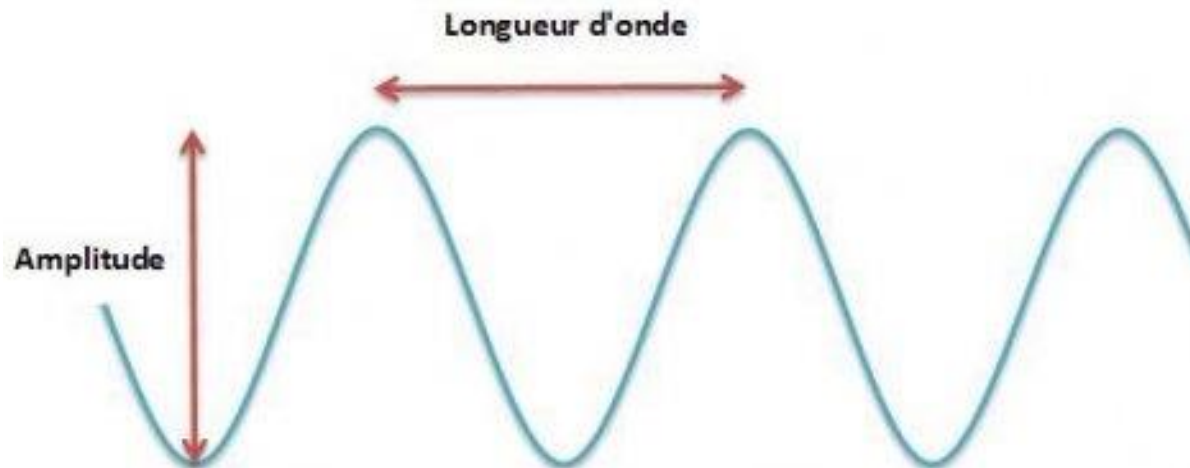
# LA THÉORIE ONDULATOIRE

## QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DE LA LUMIÈRE

- La lumière peut se propager même en l'absence de milieu matériel, c'est-à-dire même dans le vide (contrairement aux sons ou aux vagues de la mer).

Vitesse de propagation dans le vide :  $c = 299792458 \text{ m.s}^{-1}$   
 $c$  est d'environ  $3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .

- La lumière étant une onde, on définit : sa période temporelle  $T$  (en s), sa fréquence  $f = 1 / T$  (en  $\text{s}^{-1}$  ou Hz) et sa longueur d'onde spatiale  $\lambda$  (en m)  $\lambda = c.T = c/f$   
**Ces 2 paramètres  $T$  et  $f$  sont indépendants du milieu traversé.**



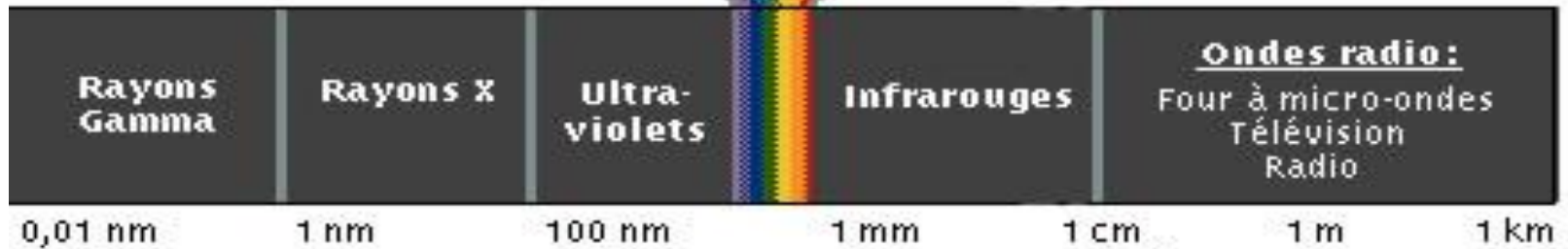
# LA THÉORIE ONDULATOIRE

## SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

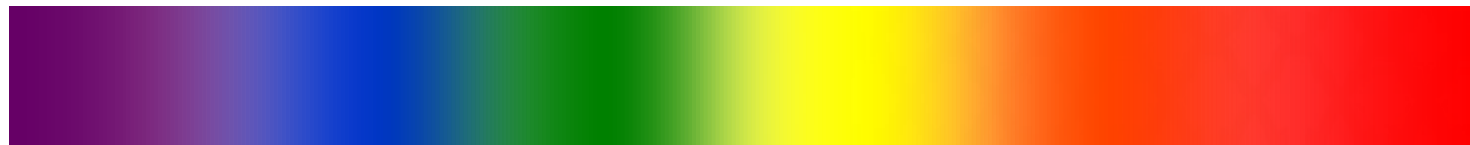
Spectre électromagnétique se divise en plusieurs catégories dont les limites sont approximatives.



Spectre de la lumière visible  
400 - 700 nm



Les ondes GSM se situent à environ 0,3m



<b>Violet:</b> 400 à 450 nm	<b>Bleu:</b> 450 à 520 nm	<b>Vert:</b> 520 à 560 nm	<b>Jaune:</b> 560 à 600 nm	<b>Orange:</b> 600 à 625 nm	<b>Rouge:</b> 625 à 700 nm
-----------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------	-----------------------------	----------------------------

# LA THÉORIE ONDULATOIRE

## INDICE DE RÉFRACTION DU MILIEU

Dans un milieu matériel : La lumière se propage à une vitesse  $v$  plus faible que dans le vide. Si  $v$  désigne la vitesse de la lumière dans le milieu, on définit l'indice de réfraction  $n$  du milieu par :  $n = c/v$

- ❖ L'air a un indice de réfraction de l'ordre de 1,000293 (à 1 bar et 0°C) qui sera souvent assimilé à 1.
- ❖ Indice du verre : de 1,5 à 1,7 (selon la nature du verre)
- ❖ Indice de l'eau : de l'ordre de 1,33

La vitesse de propagation de la lumière dans un milieu matériel dépend des propriétés microscopiques du milieu et de la fréquence (c'est-à-dire de la couleur) de la lumière. On peut dans certains cas modéliser ce phénomène par la loi de Cauchy :

$$\lambda_{\text{rouge}} > \lambda_{\text{bleu}} \rightarrow n_{\text{bleu}} > n_{\text{rouge}} \rightarrow v_{\text{rouge}} > v_{\text{bleu}}$$

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

Dans un milieu matériel, le bleu se propage moins vite que le rouge (contrairement au vide où toutes les couleurs se propagent toujours à la même vitesse). On appelle ce phénomène : dispersion de la lumière

# LA THÉORIE ONDULATOIRE

## DIFFÉRENTS TYPES DE MILIEUX

**Milieu homogène** : tout milieu dans lequel la lumière se propage avec une vitesse  $v$  constante. Donc son indice de réfraction  $n$  est aussi constant.

**Milieu inhomogène** (non homogène) : Tout milieu dans lequel la lumière se propage avec une vitesse  $v$  variable. Donc son indice de réfraction  $n$  est aussi variable, dans ce milieu ( $n=c/v$ ).

**Milieu isotrope** : Qui présente les mêmes caractéristiques physiques dans toutes les directions.



On appelle **corps transparent** tout corps qui laisse passer la lumière. Exemple : l'eau, le verre, le cellophane,...

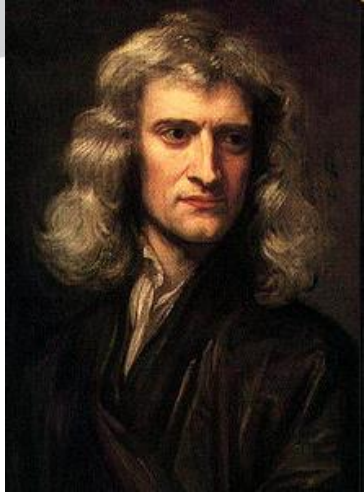


On appelle **corps opaque**, tout corps qui arrête totalement la lumière. Exemple : le bois, l'acier, le marbre,...



On appelle **corps translucide**, tout corps qui laisse passer les rayons lumineux mais ne permet pas de distinguer nettement les contours ou les couleurs des objets. Exemple: papier huilé, porcelaine,...

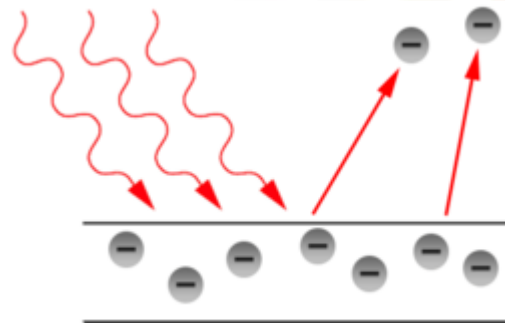
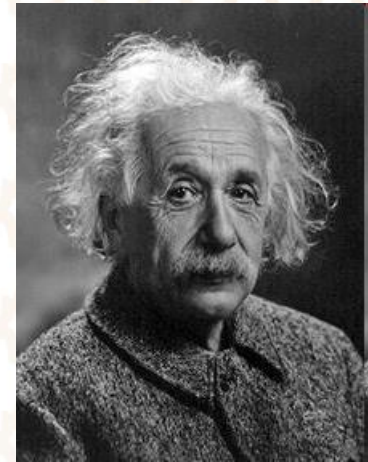
# LA THÉORIE CORPUSCULAIRE



**NEWTON** (fin 17<sup>ième</sup>, début 18<sup>ième</sup>) considère la lumière composée de corpuscules très subtils. La matière ordinaire est constituée de plus gros corpuscules.



Les découvertes de l'effet, photoélectrique et. du rayonnement, du corps noir conduisent. **PLANCK** et. **EINSTEIN** (20<sup>ième</sup>) à revenir à un modèle corpusculaire



# LA THÉORIE CORPUSCULAIRE

## QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DE LA LUMIÈRE

La lumière est une sorte de flux de « grains d'énergie », appelés photons.

Chacun de ces photons :

- a une masse nulle
- se déplace à une vitesse  $c = 2,998.10^8 \text{m.s}^{-1}$  dans le vide
- son énergie est  $E = h f$ , où  $h$  est la constante de Planck et  $f$  la fréquence du photon (fréquence de la « lumière associée »).

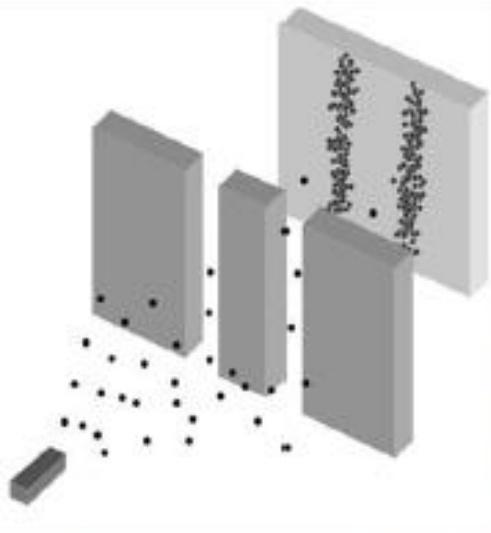
Constante de Planck :  $h = 6,62.10^{-34} \text{ J.s}$

- Par analogie avec le photon, de Broglie, associe donc à une particule la longueur d'onde  $\lambda$  donnée par la relation:  $\lambda = h/p$   
Avec,  **$p$  la quantité de mouvement de la particule:  $p = mv$**

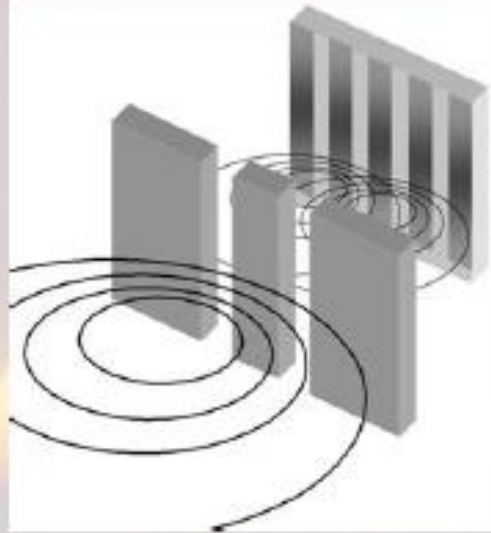
# DUALITÉ ONDE - CORPUSCULE



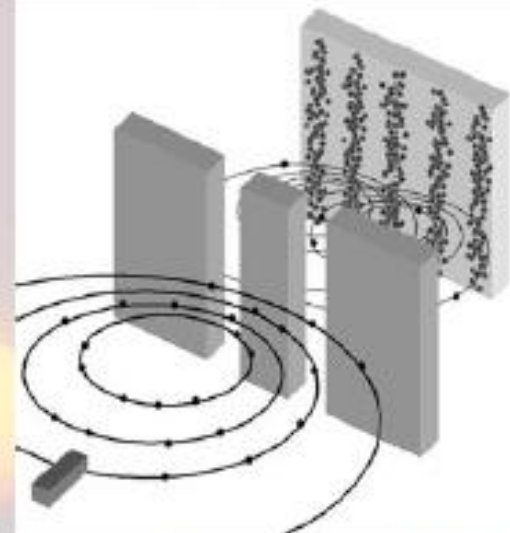
***Louis de Broglie (1924) la lumière n'est ni seulement un flux de photons, ni seulement une onde, mais les deux à la fois. C'est la dualité onde-corpuscule,***



Expérience avec des billes



Expérience avec des ondes



Expérience avec des quanta

# LES DIFFÉRENTES SOURCES DE LUMIÈRE

Tout corps qui émet de la lumière est une source lumineuse. On distingue deux types de sources : les sources primaires et les sources secondaires.

**Sources primaires** : Elles génèrent leur propre lumière (ex : Soleil, lampe, bougie, étoile, etc.).

**Sources secondaires** : Elles diffusent la lumière qu'il reçoivent d'une source primaire (ex : Lune, Planètes, le mur, la table, etc.).

Parmi les sources primaires, il y a **3 types de sources**, qui diffèrent par le spectre de la lumière émise :

1. **spectre continu** (Soleil, lampe à incandescence),
2. **spectre de raies** (lampe à vapeur atomique (mercure, sodium)), ampoule à économie d'énergie),
3. **spectre monochromatique** (LASER)

Une **source monochromatique** est une source capable d'émettre une seule radiation, donc une seule couleur.

Une **source de la lumière blanche** est une source qui émet de la lumière blanche, c'est-à-dire toutes les radiations.  
Exemple : le Soleil.



# Approximations de l'optique géométrique

1. Principes de l'optique géométrique
2. Notion de rayon lumineux
3. Lois de Snell-Descarte

## Modèle de l'optique géométrique :

$\lambda$  petit par rapport aux instruments de mesure

En optique géométrique, on est placé dans des conditions telles que les obstacles sont grands devant la longueur d'onde  $\lambda$ . En effet la dimension caractéristique  $D$  d'un système optique (un objectif d'appareil photo par exemple) est de quelques cm, tandis que la longueur d'onde de la lumière visible est de quelques centaines de nm, donc :  $D \gg \lambda$ .

## Principe de propagation rectiligne :

Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, la propagation de la lumière est rectiligne ; les rayons lumineux sont des droites.

## Principe d'indépendance des rayons lumineux :

Lorsque deux rayons lumineux se rencontrent, ils n'interagissent pas l'un avec l'autre. Les rayons lumineux peuvent être traités indépendamment les uns des autres.

## Principe du retour inverse :

Le trajet suivi par la lumière entre deux points est indépendant du sens de parcours de la lumière entre ces deux points.

## Principe de Fermat

La lumière se propage entre deux points en suivant la trajectoire qui minimise le temps de parcours.

Soit  $\ell$  l'abscisse curviligne le long du rayon lumineux allant de S à M. Le retard  $\tau_M$  s'exprime alors :

$$\tau_M = \int_0^{\tau_M} dt = \int_S^M \frac{dt}{d\ell} d\ell = \int_S^M \frac{1}{v(P)} d\ell = \frac{1}{c} \int_S^M n(P) d\ell$$

On appelle *chemin optique* le long du trajet SM l'expression :

$$L_{SM} = \int_{SM} n(P) d\ell = c\tau_M$$

Le chemin optique est donc une mesure en unité de longueur du temps mis par la lumière pour se propager de S en M.

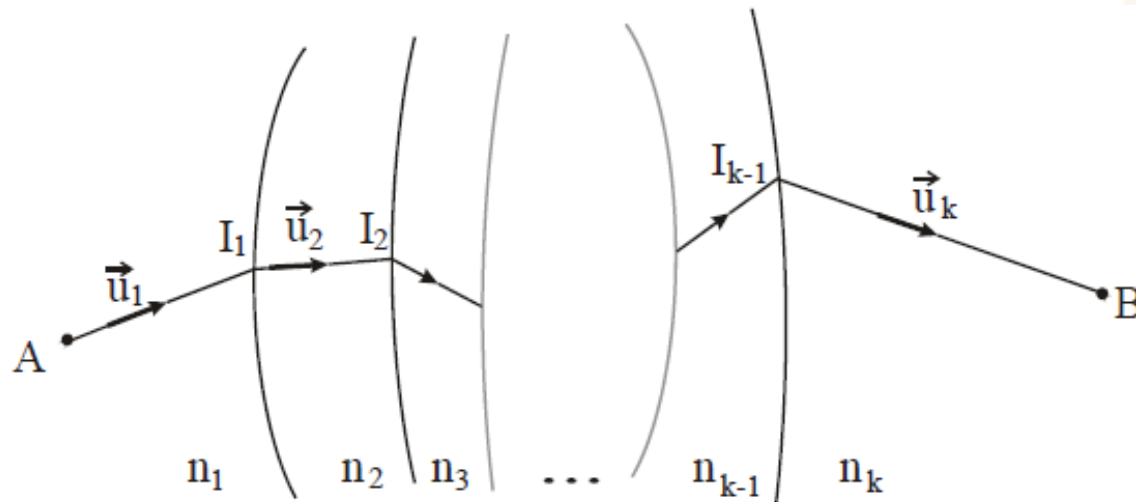
## Cas d'une succession de milieux homogènes :

Dans le cas où l'on a une suite de milieux homogènes d'indices  $n_1, n_2, \dots, n_k$ , séparés par des dioptres, le trajet du rayon lumineux est formé d'une suite de segments de droites limités aux points de rencontre  $I_1, I_2, \dots, I_{k-1}$  de ce rayon avec les dioptres. Le chemin optique entre deux points A et B appartenant respectivement au premier et au dernier milieu est:

$$L = [AB] = n_1 AI_1 + n_2 I_1 I_2 + \dots + n_k I_{k-1} B$$

$$= n_1 \ell_1 + n_2 \ell_2 + \dots + n_k \ell_k$$

$$L = [AB] = \sum_i n_i \ell_i$$



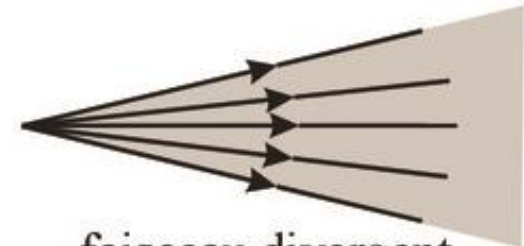
# NOTION DE RAYON LUMINEUX

On modélise un rayon lumineux par un segment de droite sur laquelle on place une flèche indiquant le sens de propagation de la lumière.

En pratique un rayon lumineux isolé n'existe pas.

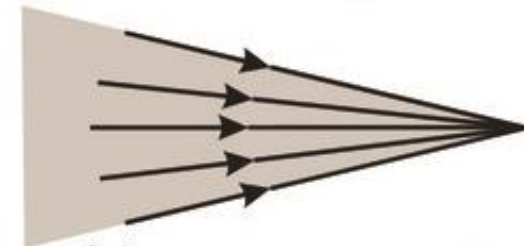
Les rayons sont toujours groupés en faisceaux. On distingue 3 types de faisceaux :

- *faisceau "divergent"* un faisceau lumineux dont tous les rayons sont issus d'un même point  $S$ ,



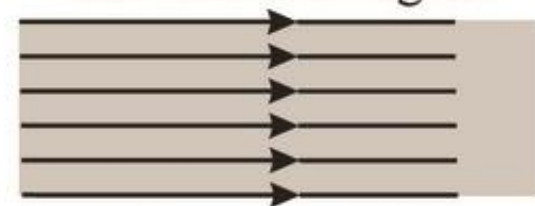
faisceau divergent

- *faisceau "convergent"* un faisceau lumineux dont tous les rayons aboutissent à un même point,



faisceau convergent

- *faisceau "parallèle"* ou "*cylindrique*" un faisceau lumineux dont tous les rayons sont parallèles.



faisceau parallèle

**Pinceau** : tout faisceau étroit est appelé un pinceau lumineux.

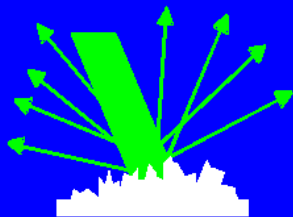
# INTERACTION LUMIÈRE-MATIÈRE

Quand la lumière rencontre un milieu homogène, isotrope et transparent on peut observer:

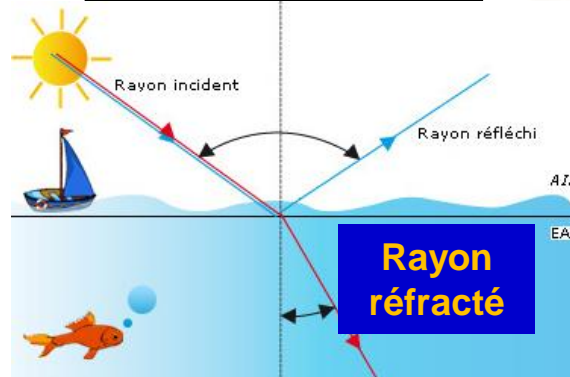
## Réflexion:

Réflexion spéculaire

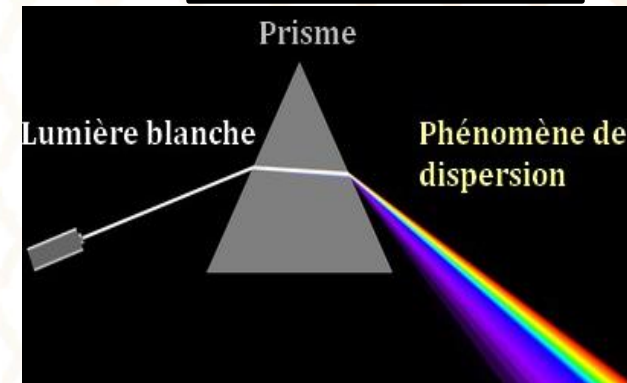
Réflexion diffuse



## Réfraction:



## Dispersion:



Une interaction lumière-matière conduisant à une déviation de la trajectoire de la lumière du même côté du corps d'où elle est venue.

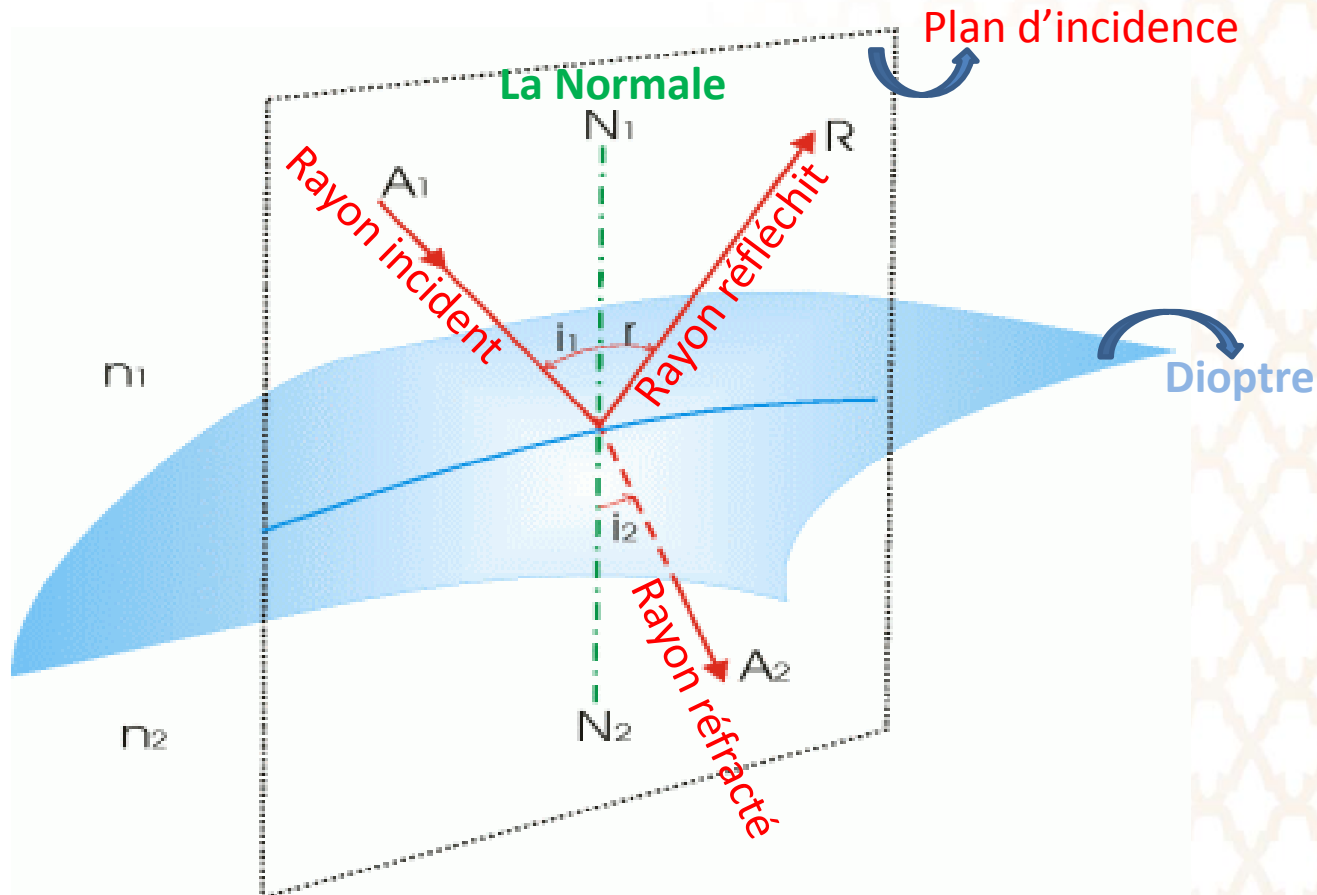
Une interaction lumière-matière conduisant à une déviation de la trajectoire de la lumière au moment où elle traverse deux milieux transparents.

Une interaction lumière-matière conduisant à la décomposition de la lumière blanche en ses différentes composantes.

# LOIS DE SNELL-DESCARTE

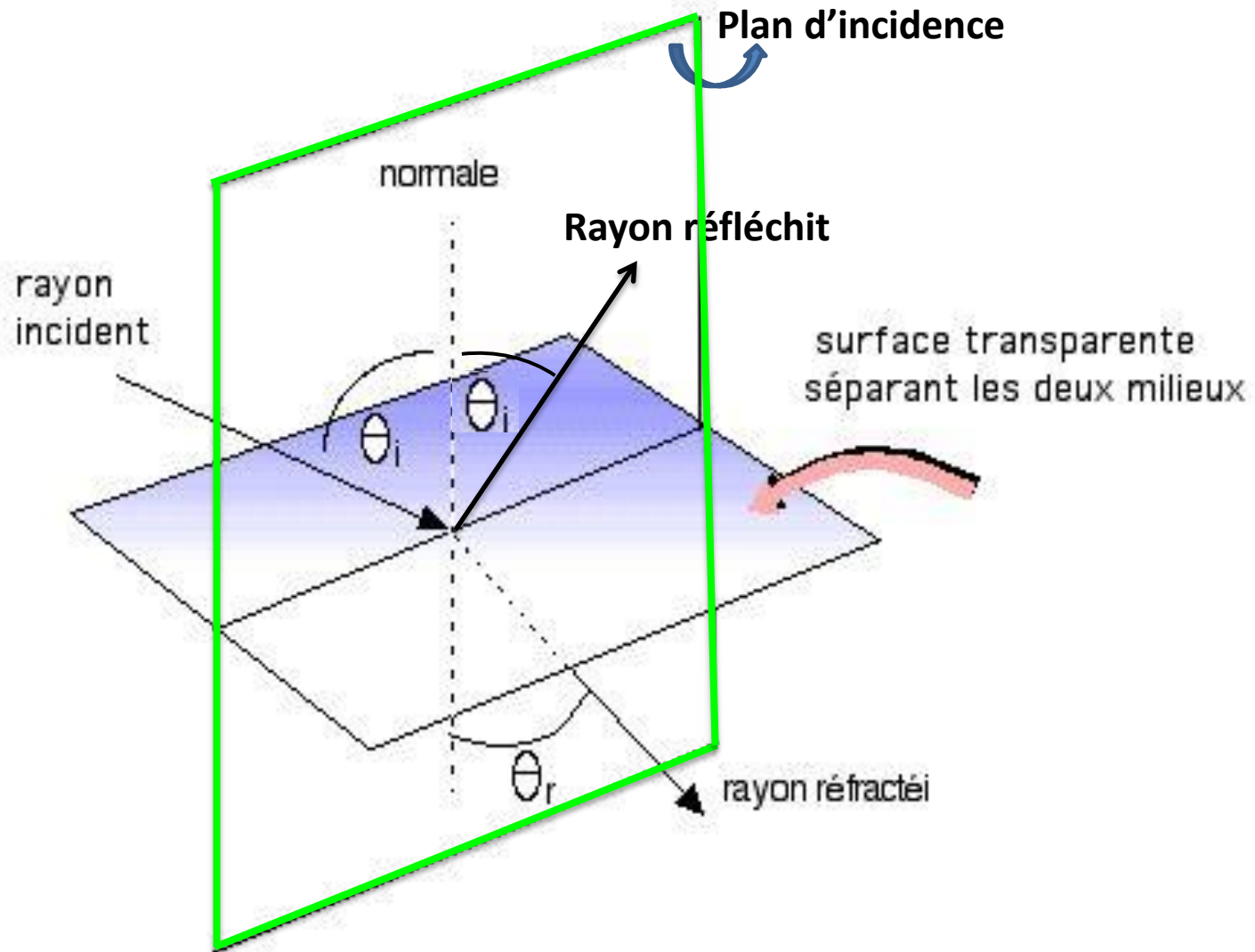
La lumière se propage en ligne droite dans un milieu homogène, lorsqu'elle rencontre un deuxième milieu homogène, elle change de direction et donne généralement lieu à une onde réfléchie et à une onde réfractée.

La surface de séparation entre deux milieux transparents est appelée dioptre.



# PREMIÈRE LOI DE DESCARTES

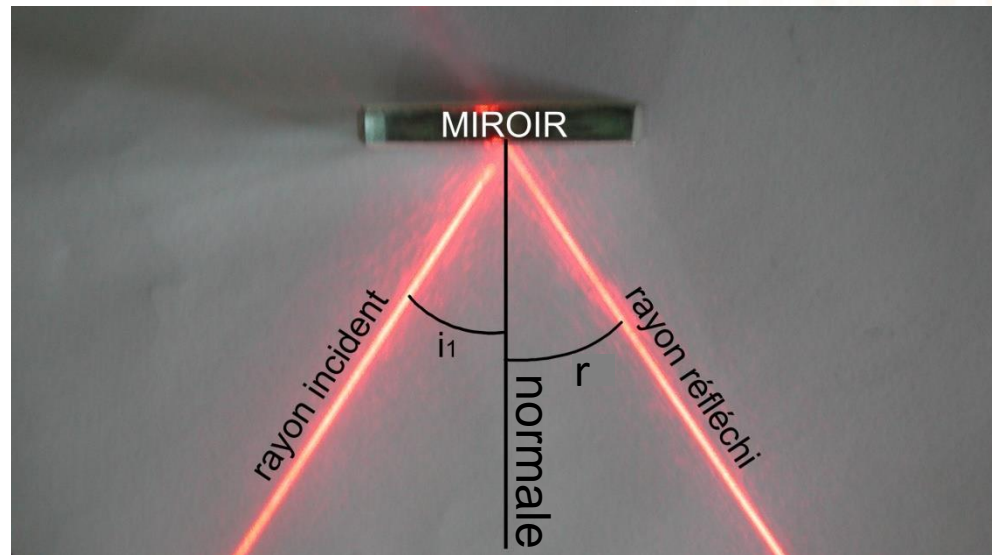
Les rayons réfléchi et réfracté sont dans le plan d'incidence.





## DEUXIÈME LOI DE SNELL-DESCARTE

Les rayons incident et réfléchi sont symétriques par rapport à la normale à la surface de séparation ce qui se traduit par :  $i_1 = r$

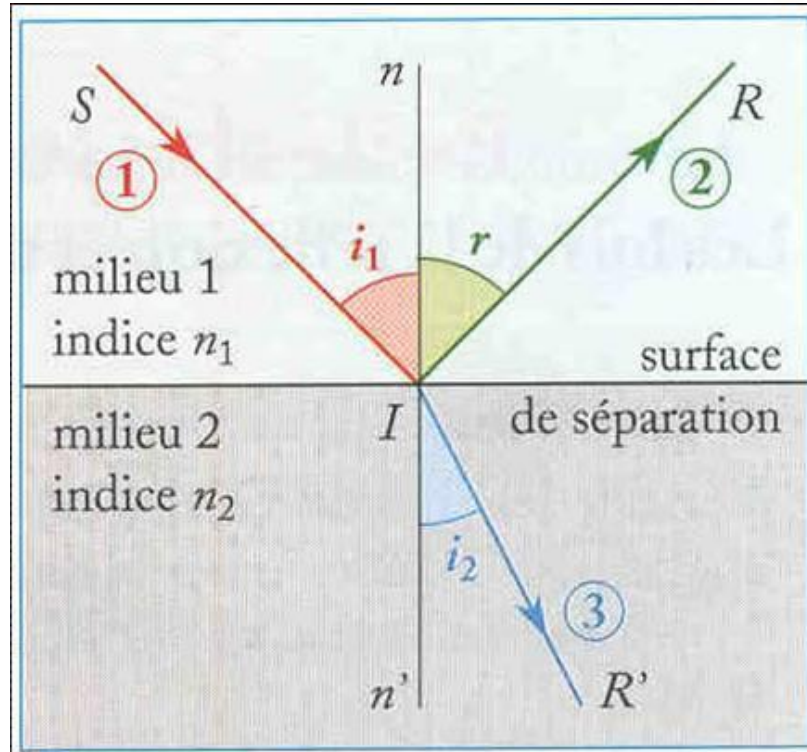


Angle d'incidence ( $i_1$ ) = angle de réflexion ( $r$ )

Attention les angles  $i_1$  et  $r$  sont mesurés par rapport à la normale au miroir!

# TROISIÈME LOI DE SNELL-DESCARTE

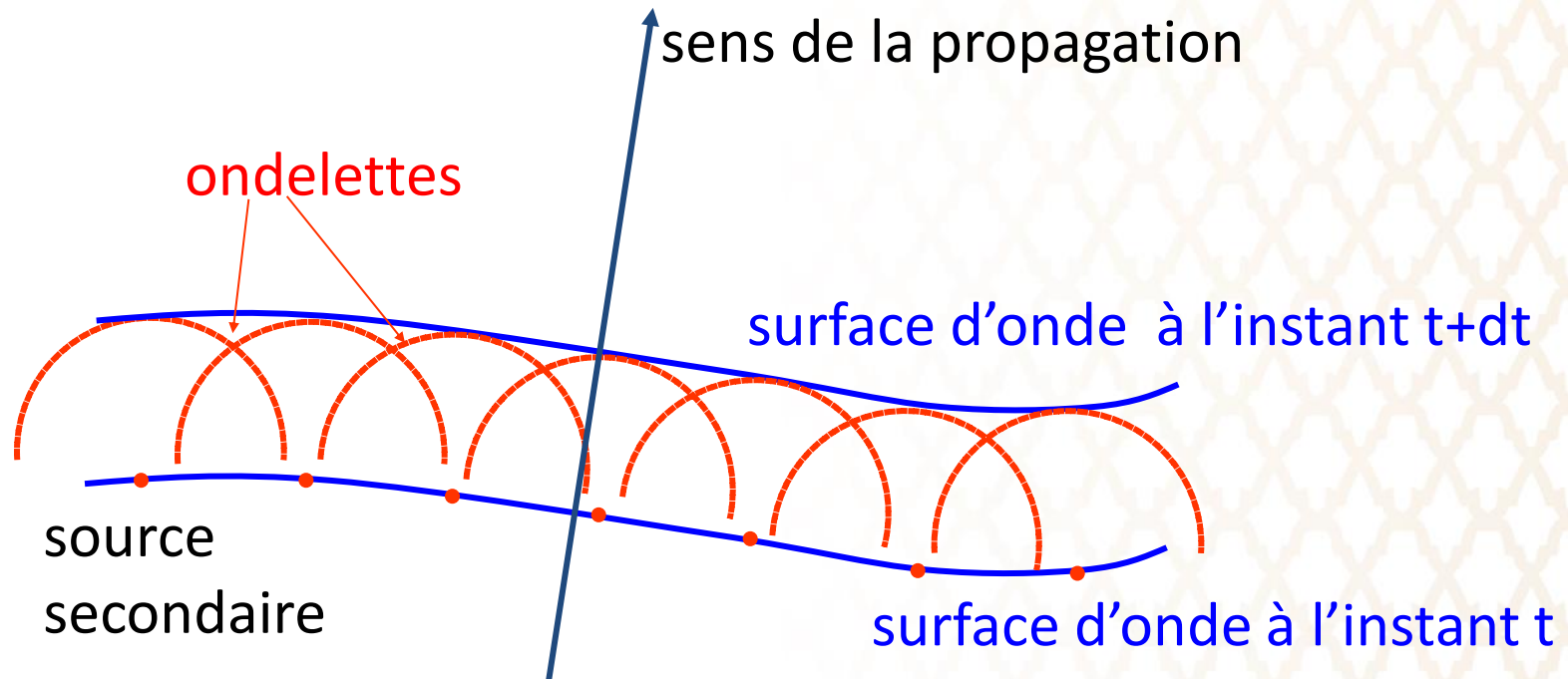
Quand un rayon lumineux passe d'un milieu 1 à un milieu 2, il est dévié d'un angle  $i_2$  par rapport à la Normal à la surface de séparation qu'on appelle angle de réfraction, tel que:  $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$



- ❖ Le **rayon réfracté** est dans le plan d'incidence et dans le milieu 2.
- ❖ Le **rayon réfracté** fait un angle  $i_2$  avec N, tel que:  $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$
- ❖ Si  $n_2 > n_1$  alors  $i_1 > i_2$  sinus fonction croissante de 0 à  $\pi/2$ .

## Principe de Huyghens

" Les points d'égale perturbation lumineuse forment un ensemble appelé **surface d'onde**. Chacun de ces points se comporte comme une source secondaire qui émet des **ondelettes** sphériques si le milieu est isotrope. L'enveloppe de ces ondelettes forme une nouvelle surface d'onde."



# TROISIÈME LOIS DE SNELL-DESCARTE

Isolons une onde plane incidente qui se déplace à la vitesse  $V_1$  dans le milieu 1 et à la vitesse  $V_2$  dans le milieu 2. Pour déterminer la forme de l'onde dans le milieu 2, Huygens suppose que chaque point de la surface de séparation réémet une ondelette sphérique qui se propage ensuite à la vitesse  $V_2$ .

Traçons l'ondelette virtuelle de rayon  $V_1 t$ , tangente en  $T_1$  au plan de l'onde incidente. Les traces des deux plans d'onde se coupent au point  $J$ . Le rayon réfracté, normal au plan d'onde correspondant passe par le point  $T_2$ .

Soit  $i$  l'angle d'incidence et  $r$  l'angle de réfraction.

Dans le triangle rectangle  $IJT_1$ :

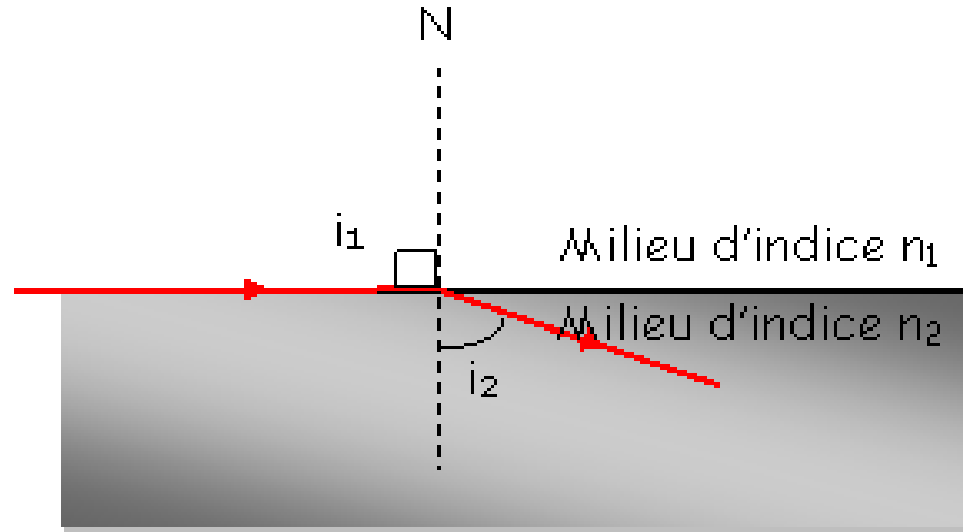
$$\sin i = IT_1/IJ = V_1 t / IJ$$

Dans le triangle rectangle  $IJT_2$ :

$$\sin r = IT_2/IJ = V_2 t / IJ$$

$$\rightarrow \sin i / \sin r = V_1 / V_2 = n_2 / n_1$$

$$\rightarrow n_1 \sin i = n_2 \sin r$$



## Cas où $n_1 < n_2$

On dit, dans ce cas, que la lumière passe d'un milieu à un autre plus réfringent et l'on a :

$$\frac{n_1}{n_2} < 1 \text{ soit } \sin i_2 < \sin i_1 \text{ d'où } i_2 < i_1$$

l'angle de réfraction est inférieur à l'angle d'incidence et il existe toujours un rayon réfracté. Celui-ci se rapproche de la normale.

Lorsque  $i_1 = \frac{\pi}{2}$ ,  $i_2$  atteint une valeur limite  $i_L$  appelée "**angle limite de réfraction**" donnée par :  $\sin i_L = \frac{n_1}{n_2}$

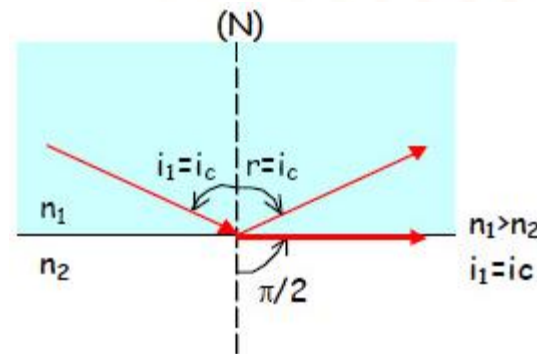
# RÉFLEXION TOTALE

## Cas où $n_1 > n_2$

$$\frac{n_1}{n_2} > 1 \text{ soit } \sin i_2 > \sin i_1 \text{ d'où } i_2 > i_1$$

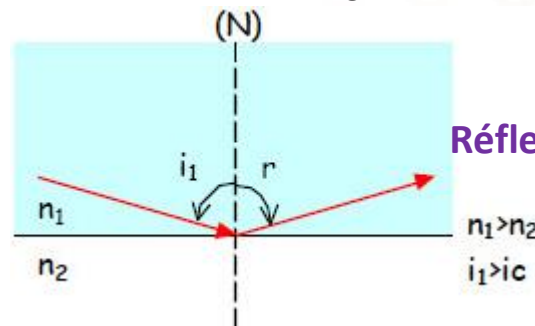
l'angle de réfraction est supérieur à l'angle d'incidence et le rayon réfracté s'éloigne de la normale. Pour une certaine valeur  $i_c$  (angle critique) de l'angle d'incidence, l'angle de réfraction  $i_2$  est égal à  $\frac{\pi}{2}$  soit  $\sin i_c = \frac{n_2}{n_1}$ , on parle de **l'Emergence rasante**.

$$i_1 = i_c = \text{Arcsin} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$$



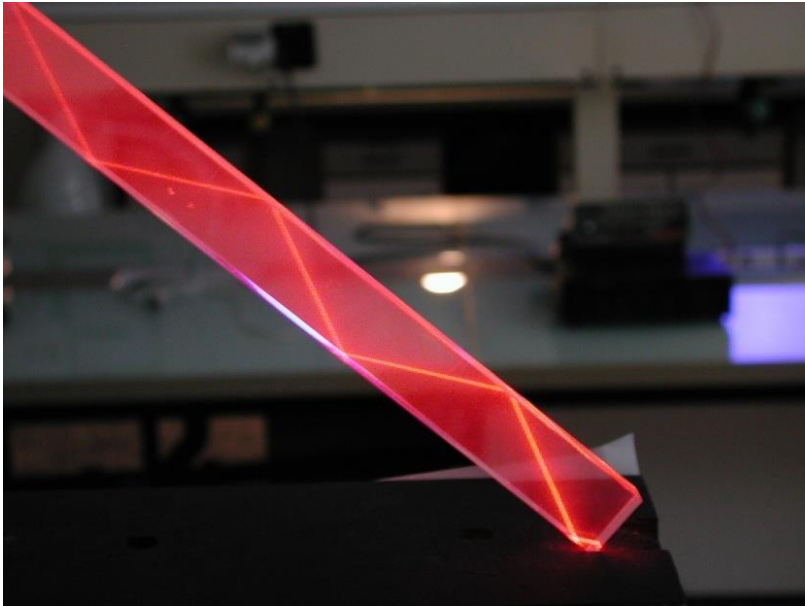
**Emergence rasante**

Si l'angle d'incidence est supérieur à  $i_c$ , il n'y a plus de rayon réfracté et l'on a " **réflexion totale** ".

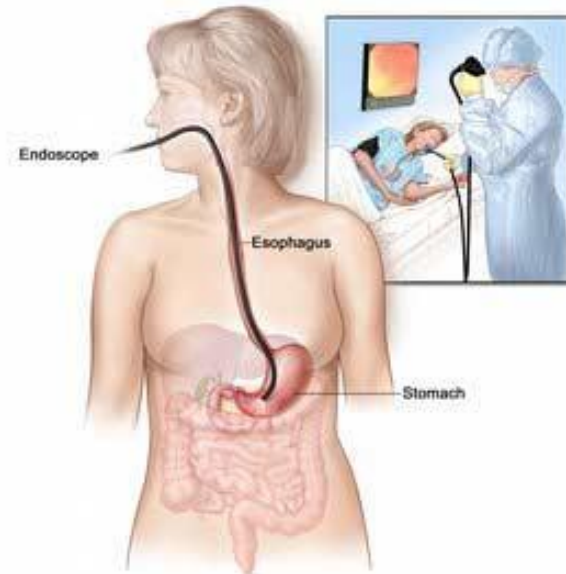


**Réflexion totale**

Fibres optiques « emprisonnant » un faisceau lumineux, utilisées pour les télécommunications.



Examens médicaux permettant de visualiser l'intérieur du corps : Endoscopie, Fibroscopie, coloscopie.

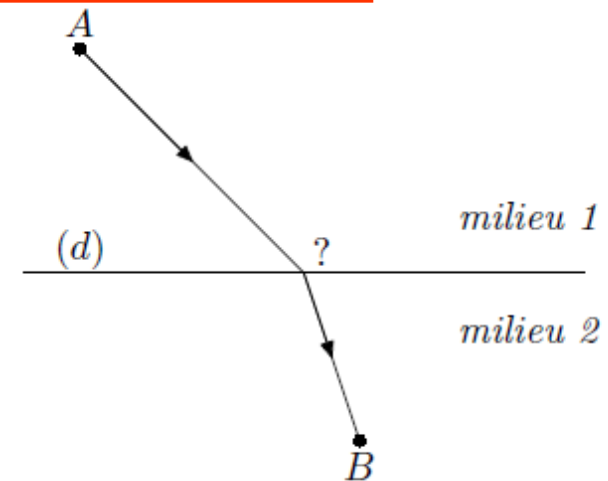


## RÉFRACTION : PRINCIPE DE FERMAT ET LOI DE SNELL - DESCARTES

La droite  $(d)$  sépare deux milieux homogènes différents.

Dans le premier milieu, la lumière se déplace à la vitesse  $v_1$ ,  
et dans le deuxième à la vitesse  $v_2$ .

La question est de savoir quelle trajectoire va emprunter la lumière pour aller du point  $A$  (situé dans le premier milieu) au point  $B$  (situé dans le deuxième milieu).

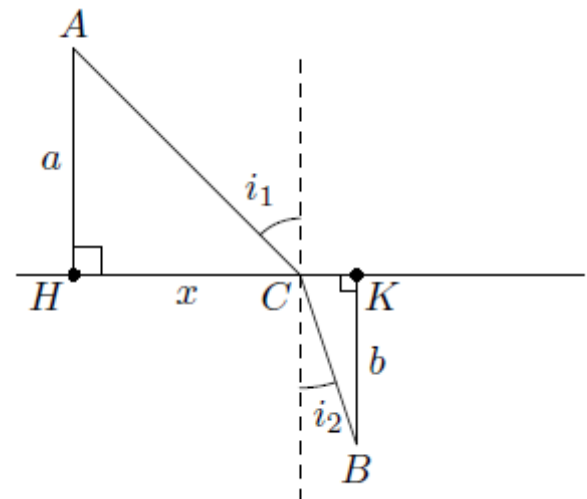


Chercher la trajectoire qui minimise le temps de parcours revient à chercher la valeur de  $x$  qui minimise la fonction  $f$  définie par  $f(x) = t_1 + t_2$ , où :

$t_i$  est la durée du trajet dans le milieu  $i$  ;

$x$  est la distance  $HC$  ;

la distance  $HK$  est notée  $h$ .



$$\text{On a : } t_1 = \frac{AC}{v_1} = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{v_1} \quad \text{et} \quad t_2 = \frac{CB}{v_2} = \frac{\sqrt{b^2 + (h-x)^2}}{v_2} ;$$

$$\text{D'où : } f(x) = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{b^2 + (h-x)^2}}{v_2}.$$



## EXERCICES D'APPLICATIONS

La fonction  $f$  est définie et dérivable sur son ensemble de définition  $[0; h]$ , nous allons rechercher son minimum en étudiant le signe de sa dérivée.

En utilisant la formule  $(\sqrt{u})' = \frac{u'}{2\sqrt{u}}$ , on obtient :  $f'(x) = \frac{x}{v_1\sqrt{a^2 + x^2}} + \frac{x-h}{v_2\sqrt{b^2 + (h-x)^2}}$

Comme la fonction  $f'$  est continue, négative pour  $x = 0$ , positive pour  $x = h$ , elle s'annule (au moins une fois) sur l'intervalle  $[0; h]$ , et le minimum de la fonction  $f$  est atteint en une valeur de  $x$  telle que  $f'(x) = 0$ .

Nous résolvons l'équation  $f'(x) = 0$ , en remplaçant  $x$  par  $a \tan(i_1)$  et  $(h-x)$  par  $b \tan(i_2)$  :

$$f'(x) = 0 \iff \frac{a \tan(i_1)}{v_1\sqrt{a^2 + a^2 \tan^2(i_1)}} + \frac{-b \tan(i_2)}{v_2\sqrt{b^2 + b^2 \tan^2(i_2)}} = 0 \iff \frac{\tan(i_1)}{v_1\sqrt{1 + \tan^2(i_1)}} - \frac{\tan(i_2)}{v_2\sqrt{1 + \tan^2(i_2)}} = 0$$

En utilisant la formule :  $1 + \tan^2(\alpha) = \frac{1}{\cos^2(\alpha)}$ , et le fait que  $i_1$  et  $i_2$  sont des angles aigus, et donc que leur cosinus est positif, on a :  $\frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2(i_1)}} = \cos(i_1)$ , ce qui donne au final :

$$f'(x) = 0 \iff \frac{\tan(i_1) \cos(i_1)}{v_1} = \frac{\tan(i_2) \cos(i_2)}{v_2}$$

$$f'(x) = 0 \iff \frac{\sin(i_1)}{v_1} = \frac{\sin(i_2)}{v_2}$$

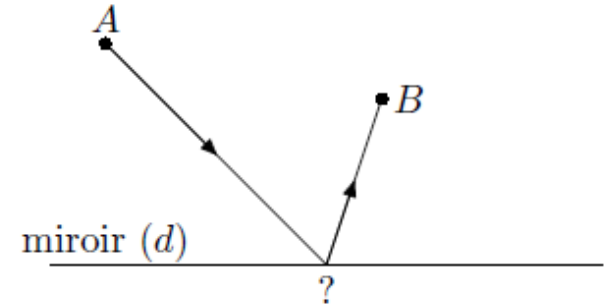
Enfin, comme  $v_i = \frac{c}{n_i}$  :

$$f'(x) = 0 \iff n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$$

Les trajectoires qui minimisent le temps de parcours sont telles que  $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$ .

## Principe de Fermat dans le cas de la réflexion

Il s'agit d'aller de  $A$  à  $B$ , « le plus vite possible », en passant par le miroir ( $d$ ). Dans ce cas, puisque l'on ne change pas de milieu, aller « le plus vite possible » équivaut à emprunter le chemin le plus court en distance.



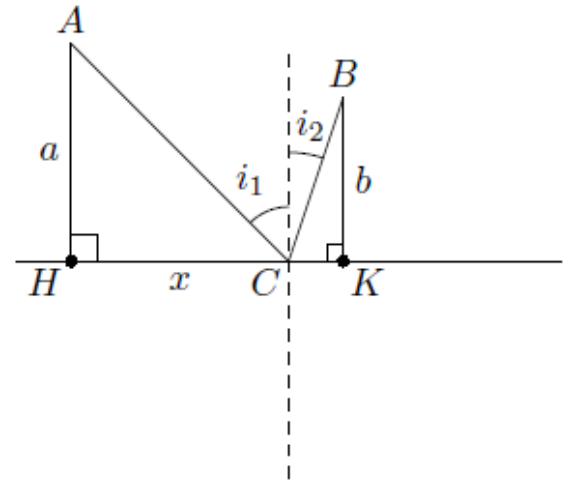
En reprenant les notations utilisées pour la réfraction, et en notant  $d(x)$  la longueur du trajet en passant par le point  $C$  (point variable du miroir), on trouve :

$$d(x) = \sqrt{a^2 + x^2} + \sqrt{b^2 + (h - x)^2}, \text{ puis}$$

$$d'(x) = 0 \text{ pour } x = \frac{ah}{a + b}$$

$$\text{On a alors : } \frac{x}{a} = \frac{h}{a + b} = \frac{h - x}{(a + b) - a}$$

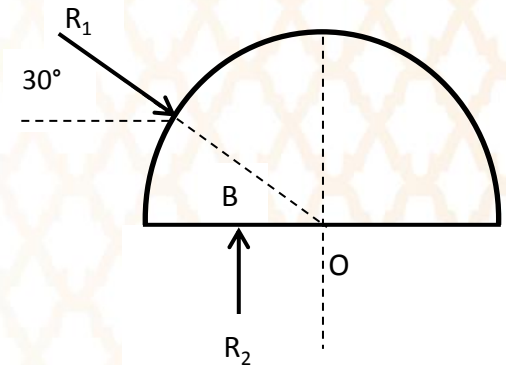
$$\text{D'où : } \frac{x}{a} = \frac{h - x}{b}, \text{ soit } \tan(i_1) = \tan(i_2) \text{ et } i_1 = i_2$$



Le trajet le plus court est obtenu lorsque  $x = \frac{ah}{a + b}$ , et les angles que font les rayons lumineux avec la normale au miroir sont égaux.

## Réflexion totale

Considérons un hémicylindre en verre d'indice  $n=1.5$ , de centre  $O$  et de rayon  $R$ , placé dans l'air d'indice 1. Déterminer les trajets des rayons incidents, indiqués sur la figure ci-dessous jusqu'à leurs sorties de ce bloc de verre. Le rayon  $R_1$  accède au bloc de verre à partir du point  $A$  et le rayon  $R_2$  y rentre du point  $B$  tel que  $OB=R/2$ . Indication :  $\sin(30^\circ)=1/2$ ,



## Solution

$i$  et  $r$  sont respectivement les angles d'incidence et de réfraction.

### Rayon R1

**En A**  $\sin i = n \sin r, i = 0 \Rightarrow r = 0$ ,

donc Le rayon continue son trajet sans être dévié,

**En O** :  $n \sin i = \sin r, \sin i_l = 1/n \Rightarrow i_l = 41,81^\circ$

$\sin i = n \sin r, i = 60^\circ > i_l \Rightarrow$  *réflexion totale*

**En C** :  $\sin i = n \sin r, i = 0 \Rightarrow r = 0$ ,

Le rayon sortant est porté par le support OC.

### Rayon R2

**En B** : Le rayon R2 arrive sous incidence normale, il n'est pas dévié.

**En D** :  $n \sin i = \sin r, \sin i = \frac{R/2}{R} = \frac{1}{2} \Rightarrow i = 30^\circ$

$1,5 \sin 30 = \sin r \Rightarrow r = 48,58^\circ$

Le rayon sort du bloc de verre en subissant une réfraction.

