Université de Jijel
Annexe de Médecine
Module de Biophysique

18/05/2025

Optique géométrique

I Principes de l'optique géométrique

I Introduction:

La notion de vision est très importante pour l'être humain, car elle permet de reconnaître l'environnement dans lequel nous vivons.

Les objets peuvent être vus de 02 manières:

- Le corps lui-même est une source de lumière = Soleil, lampe, flamme ⇒ un corps lumineux ⇒ sources lumineuses primaires.
- Grâce aux rayons réfléchis par les objets (Formation des images) ⇒ un corps éclairé: ⇒ sources lumineuses secondaires.

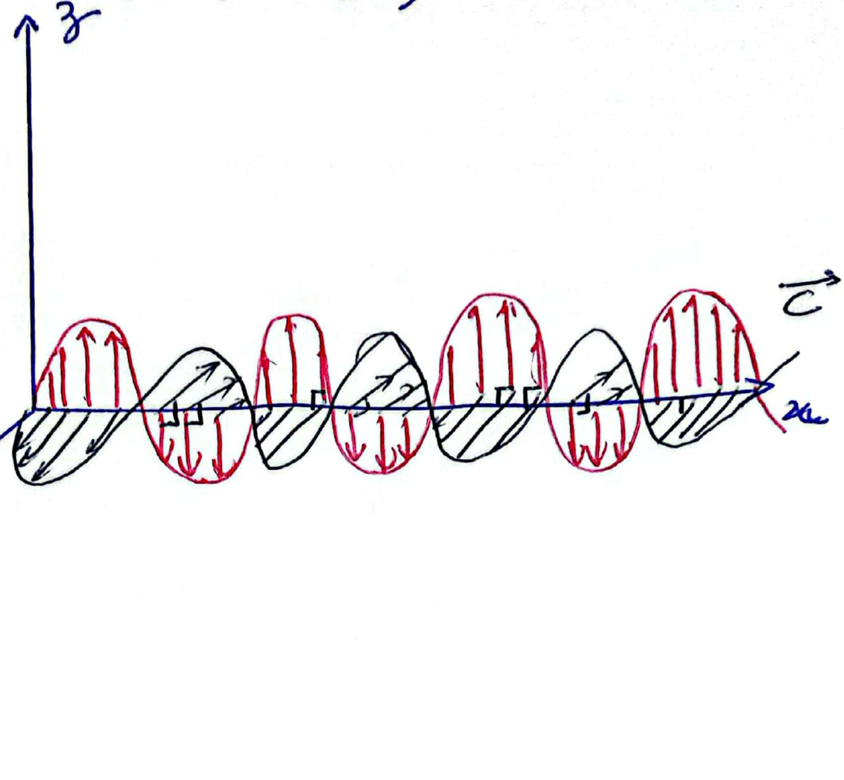
4 La nature de la lumière:

La définition de la lumière dépend dans quelle théorie on se place.

1 Pour la théorie de Maxwell:

La lumière a un aspect ondulatoire = elle est définie comme une onde électromagnétique c'est-à-dire la superposition de 02 champs,

$\vec{E}$ (électrique) et $\vec{H}$ (magnétique) avec $\vec{E} \perp \vec{H}$



② Pour la théorie d'Einstein :

La lumière est constituée de grains (petites particules) d'énergie, les photons, chaque photon transporte une énergie :

$$E = h\nu$$

ν → La fréquence

E → l'énergie d'un photon

h → constante de Planck

$h = 6{,}62\ 10^{-34}$ J.s.

③ Définition simple de la lumière :

La lumière est constituée de minuscules particules appelées des photons qui se déplacent dans l'espace à travers les ondes électromagnétiques $(\vec{E}, \vec{H})$

- <u>vitesse de propagation:</u>

La vitesse de propagation de la lumière dans le vide est donnée par:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \quad \text{——— (1)}$$

ε_0: permittivité diélectrique du vide $\quad \varepsilon_0 = 8,84 \cdot 10^{-12}$

μ_0: perméabilité magnétique du vide $\quad \mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$

<u>A.N</u>

$$c = \frac{1}{\sqrt{(8,84 \times 10^{-12})(1,26 \cdot 10^{-6})}} =$$

$$c = 3 \cdot 10^{8}\ m/s$$

Dans un autre milieu autre que le vide, la vitesse de propagation est donnée par:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} \quad \text{— (2)}$$

ε: permittivité du milieu

μ: perméabilité du milieu

$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$, ε_r: permittivité relative.

$\mu = \mu_r \mu_0$ $\quad \mu_r$: perméabilité relative.

avec $\varepsilon_r > 1$ et $\mu_r > 1$

ce qui donne:

$$v = \frac{1}{\sqrt{(\varepsilon_r \varepsilon_0)(\mu_r \mu_0)}} = \underbrace{\frac{1}{\sqrt{(\varepsilon_0 \mu_0)}}}_{c} \frac{1}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}}$$

$$\Rightarrow \quad v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}}$$

(3)

Scanné avec CamScanner

- Remarque : $\varepsilon_r > 1$, $\mu_r > 1$ $\Rightarrow \sqrt{\varepsilon_r \mu_r} > 1$

$\Rightarrow$ $v < C$

on pose $n = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r}$: indice de réfraction du milieu

* l'indice de réfraction change d'un milieu à un autre.

(3) —— $v = \frac{c}{n} \Rightarrow n = \frac{c}{v} > 1$

milieu	air	eau	Ethanol	verres	benzène	diamant
indice n	1,003	4/3	1,36	1,5 → 1,8	1,6	2,4

$$n = \frac{\text{La vitesse de la lumière dans le vide}}{\text{La vitesse de la lumière dans le milieu}} = \frac{c}{v}$$

* Spectre visible

le spectre visible est la partie du spectre électromagnétique qui est perceptible par l'humain.

Couleur	Violet	Bleu	vert	Jaune	orangé	Rouge
Longueur d'onde nm	445	480	525	577	590	650

la longueur d'onde est donnée par

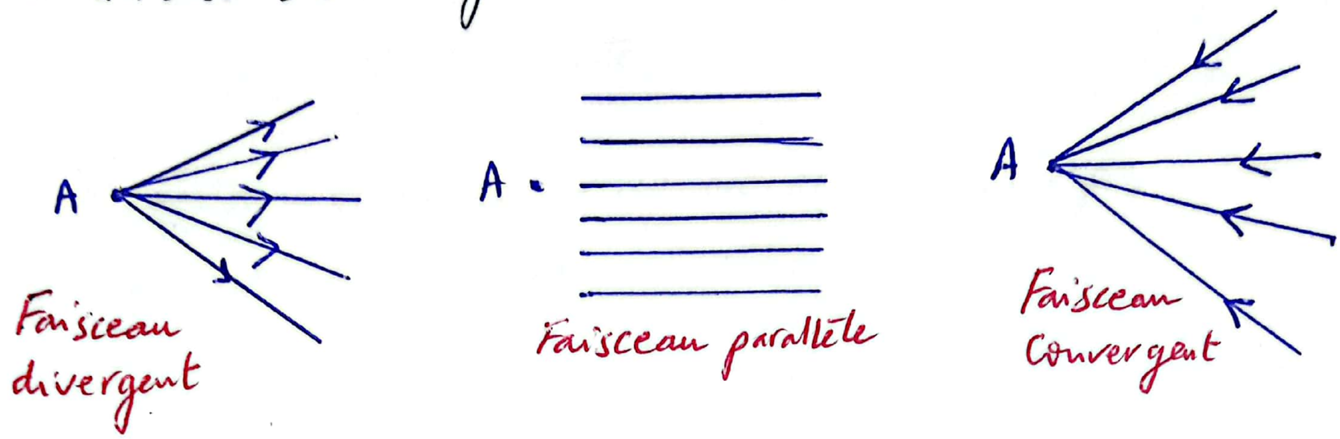
$$\lambda = CT = \frac{c}{\nu} \qquad (4)$$

T : la période de l'onde électromagnétique

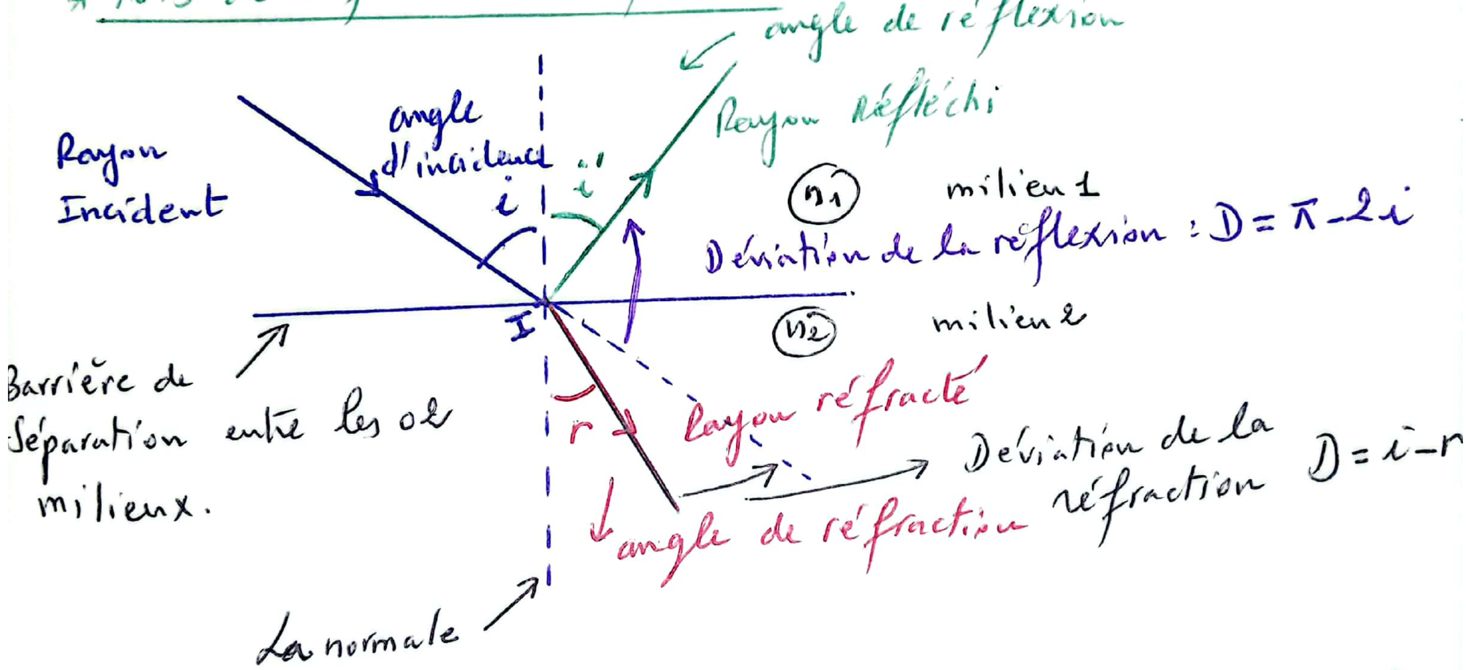
(4)

4 Principes et lois de la propagation de la lumière:

- La propagation de la lumière se fait selon des lignes droites.
- Le chemin suivi par la lumière s'appelle un rayon lumineux
- Un ensemble de rayons lumineux forme un faisceau lumineux



* lois de réflexion et réfraction



a) Lois de réflexion:

1ère loi de Snell-Descartes

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

2ème loi de Snell-Descartes

$$i' = i$$

5 Démonstration après introduction Principe de Fermat.

angle de déviation $D_{Réfléch} = \pi - 2i$

5

Lois de réfraction :

- Le rayon réfracté est dans le plan d'incidence. 1ère loi de Snell-Descartes
- Il y a un rapport constant entre les sinus des angles d'incidence et de réfraction

$$\frac{\sin i}{\sin r} = cte$$

la constante est égale au rapport des vitesses de propagation dans les 02 milieux.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

2ème loi de Snell-Descartes $\Rightarrow$ $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ (6) Démonstration par le principe de Fermat.

Déviation rayon réfracté $D_{réfracté} = i - r$

* Angle critique et réflexion totale

On a 2 milieux d'indices n_1 et n_2 $(n_1 \neq n_2)$

la loi de réfraction : $n_1 \sin i = n_2 \sin r$.

1 Cas $n_1 < n_2$:

$\sin r = \frac{n_1}{n_2} \sin i$; $\frac{n_1}{n_2} < 1 \Rightarrow \sin r < \sin i$

$\Rightarrow$ $r < i$

$(\sin i)_{max} = 1 \Rightarrow \sin r /_{max} = \frac{n_1}{n_2} < 1$

$\Rightarrow$ Conclusion : le rayon réfracté existe toujours $\forall$ la valeur de l'angle d'incidence i $(0 \to \frac{\pi}{2})$.

$2^{ème}$ cas : $n_1 > n_2$

On a toujours : $\sin r = \frac{n_1}{n_2} \sin i$

$\frac{n_1}{n_2} > 1 \Rightarrow \sin r > \sin i \Rightarrow r > i$

Au fur et à mesure que l'angle d'incidence i augmente, l'angle de réfraction augmente aussi, jusqu'à ce que nous atteignions un angle que nous appelons angle critique i_c, pour lequel l'angle de réfraction $r = \frac{\pi}{2}$

- pour $i = i_c$ $r = \frac{\pi}{2}$.

$\Rightarrow n_1 \sin i_c = n_2 \underbrace{\sin \frac{\pi}{2}}_{=1} \Rightarrow n_1 \sin i_c = n_2$

$\Rightarrow \sin i_c = \frac{n_2}{n_1}$, $i_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$

- Remarque :

On ne peut pas suivre le même raisonnement du 1^{er} cas et dire que : $(\sin i)_{max} = 1 \Rightarrow (\sin r)_{max} = \frac{n_1}{n_2} > 1$

impossible car $-1 \leq \sin \alpha \leq +1$

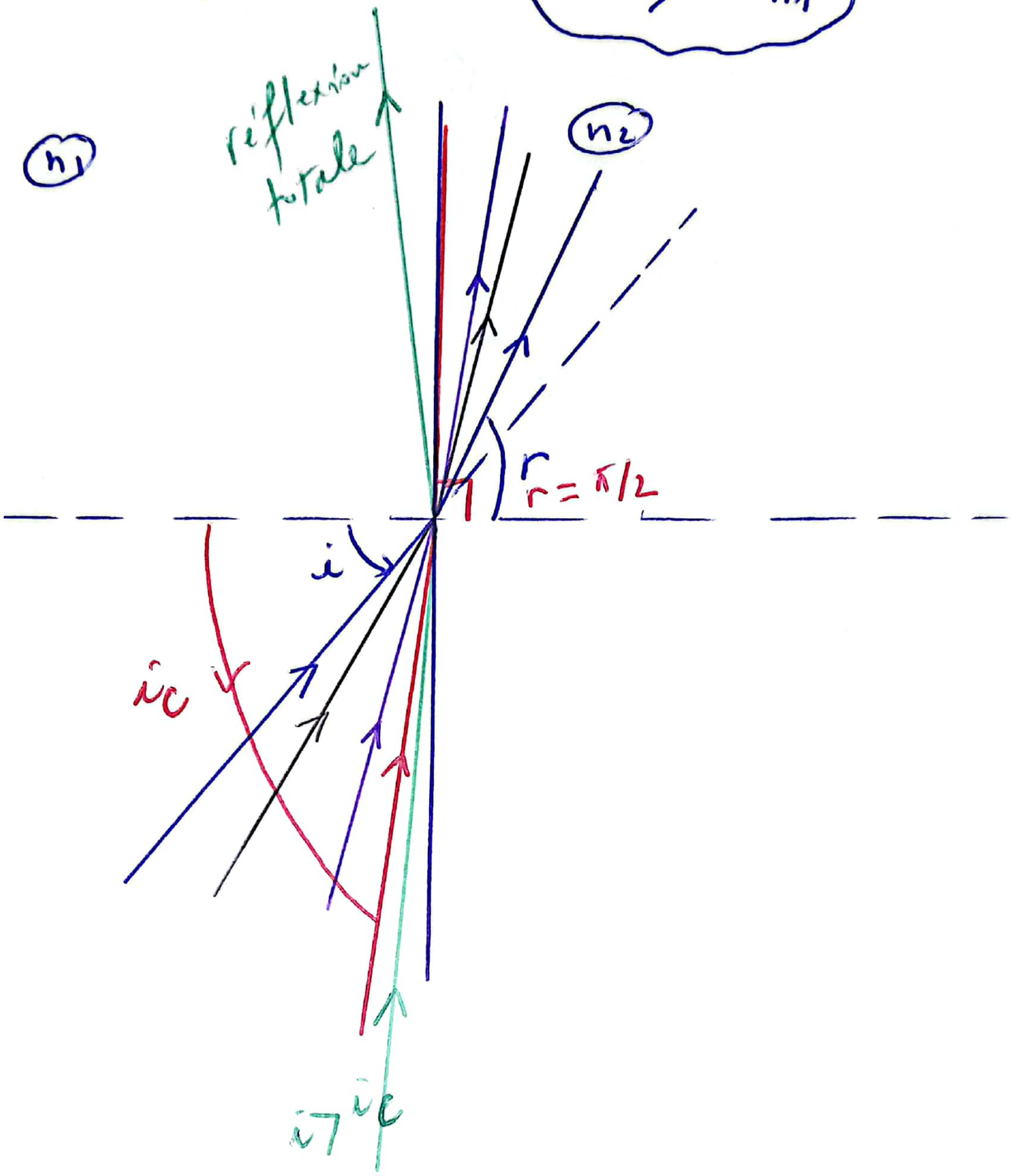
Pour un angle d'incidence $i >$ l'angle critique i_c

$\Rightarrow$ Réflexion totale

Pas de rayon réfracté.

Donc on aura réflexion totale Pour $i > i_c$

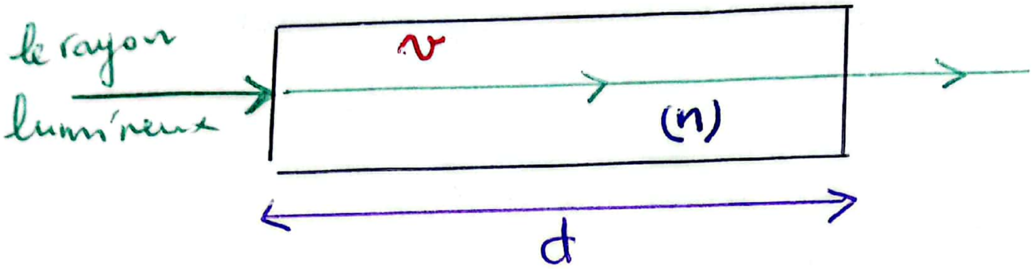
$\Rightarrow \sin i > \sin i_c \Rightarrow \sin i > \frac{n_2}{n_1}$



A beaucoup d'applications dans plusieurs domaines; médical (endoscopie), télécommunications, ----

* ## chemin optique:

Pour communiquer l'un des principes, le plus important de l'optique géométrique (Le principe de Fermat), nous définissons ce qu'on appelle le chemin optique



le rayon lumineux traverse la distance d dans un milieu d'indice de réfraction n avec la vitesse v dans un temps t, donc:

$$d = v \times t = \frac{c}{n} t.$$

$$\Rightarrow \quad nd = ct.$$

on pose : $\boxed{L = nd = ct}$

le chemin optique:

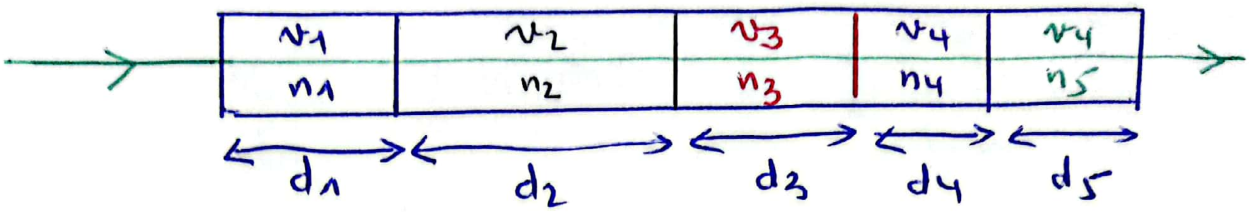
" Le chemin optique, c'est la distance parcourue par le rayon lumineux dans le vide avec la vitesse c en même temps dans lequel, il parcourt la distance d dans un milieu d'indice de réfraction n avec la vitesse v "

Remarque: Dans le cas de plusieurs milieux, le chemin optique total est:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_i$$

$$L = n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3 + \cdots + n_i d_i$$

$$L = \sum_i L_i$$



Principe de Fermat:

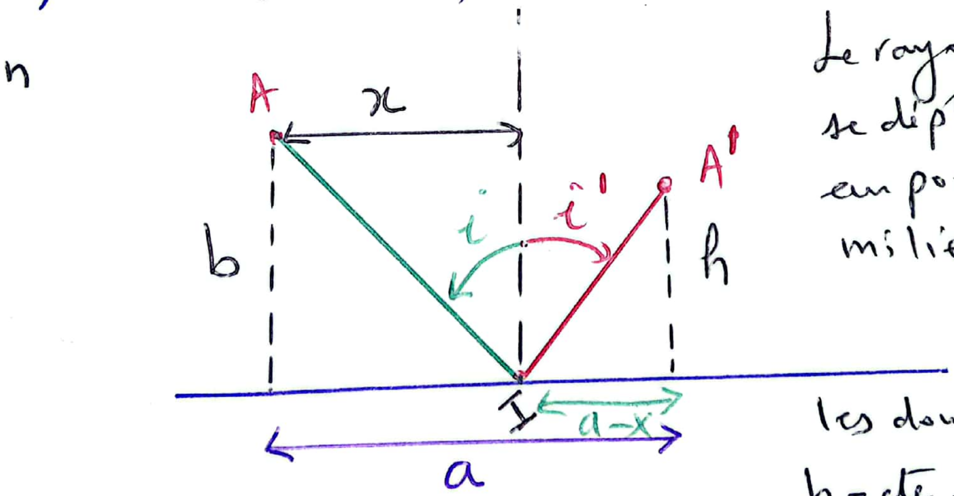
" Pour aller d'un point à un autre, le rayon lumineux choisit le chemin optique pour lequel le temps de parcours est minimum "

On peut montrer mathématiquement cela veut dire :

$$dL = 0$$

Exemple 1:

En utilisant le principe de Fermat, montrez que l'angle de réflexion i' = l'angle d'incidence i



Le rayon lumineux se déplace du point A au point A' dans un milieu d'indice n

les données sont
$b = cte$, $h = cte$
$\overline{AA'} = a$, x variable

le chemin optique

$$L = L_1 + L_2$$
$$= n\,\overline{AI} + n\,\overline{IA'}$$

$$L = n\sqrt{x^2+b^2} + n\sqrt{(a-x)^2+h^2}.$$

la seule variable c'est x, donc on dérive par rapport à x :

$$\frac{dL}{dx} = \frac{1}{\cancel{2}} n \frac{\cancel{2}x}{\sqrt{x^2+b^2}} - \frac{1}{\cancel{2}} n \frac{\cancel{2}(a-x)}{\sqrt{(a-x)^2+h^2}}$$

$$\frac{dL}{dx} = n\left[\frac{x}{\sqrt{x^2+b^2}} - \frac{(a-x)}{\sqrt{(a-x)^2+h^2}}\right]$$

Principe de Fermat : $dL = 0$.

$$\Rightarrow \quad n\left[\frac{x}{\sqrt{x^2+b^2}} - \frac{(a-x)}{\sqrt{(a-x)^2+h^2}}\right] = 0.$$

$$\Rightarrow \quad \underbrace{\frac{x}{\sqrt{x^2+b^2}}}_{\sin i} = \underbrace{\frac{(a-x)}{\sqrt{(a-x)^2+h^2}}}_{\sin i'}$$

$$\Rightarrow \quad \sin i = \sin i'$$

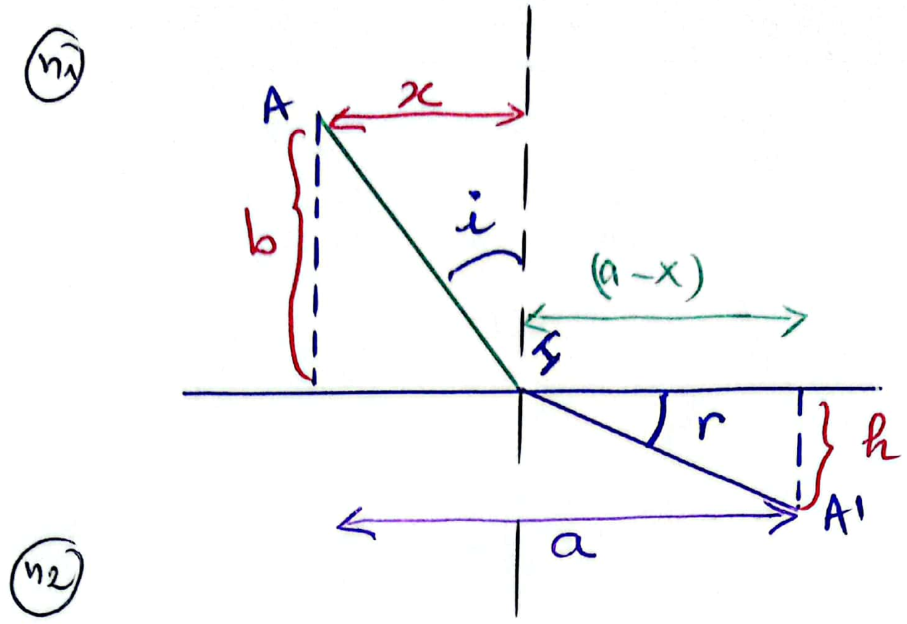
$$\Rightarrow \quad i = i' \qquad \text{cqfd}$$

<u>Exemple 2 :</u> Même question pour montrer que

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

De la même manière, le chemin optique pour aller du point A (milieu 1) au point A' (milieu 2) est :

$$L = L_1 + L_2 = n_1 \overline{AI} + n_2 \overline{IA'}$$



$$L = n_1 \sqrt{x^2+b^2} + n_2 \sqrt{(a-x)^2+h^2}$$

$$\frac{dL}{dx} = \frac{1}{\cancel{2}} n_1 \frac{\cancel{2}x}{\sqrt{x^2+b^2}} - \frac{1}{\cancel{2}} n_2 \frac{\cancel{2}(a-x)}{\sqrt{(a-x)^2+h^2}}$$

$$= n_1 \frac{x}{\sqrt{x^2+b^2}} - n_2 \frac{(a-x)}{\sqrt{(a-x)^2+h^2}}$$

Principe de Fermat : $dL = 0$.

$$\Rightarrow \quad n_1 \underbrace{\frac{x}{\sqrt{x^2+b^2}}}_{\sin i} = n_2 \underbrace{\frac{(a-x)}{\sqrt{(a-x)^2+h^2}}}_{\sin r}$$

$$\Rightarrow \quad n_1 \sin i = n_2 \sin r$$ cqfd