

Optique Photographique

Chapitre I : Lois générales de l'optique

Chapitre I : Lois générales de l'optique

Sommaire

- I. La lumière dans le vide
- II. Propagation de la lumière dans un milieu matériel
- III. Principe de Huygens
- IV. Principe de Fermat
- V. Lois de Descartes-Snell

Chapitre I : Lois générales de l'optique

I. La lumière dans le vide

La lumière présente deux aspects complémentaires :

- Un **aspect corpusculaire**

particule de masse nulle: le **photon**

vitesse de déplacement c du photon dans le vide (célérité) : $c = 299.792.458 \text{ m.s}^{-1} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

énergie associée E au photon : $E = h \nu$ où la constante de Planck $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ et ν est la fréquence

- Un **aspect ondulatoire**

onde électromagnétique se propageant en ligne droite à la vitesse c

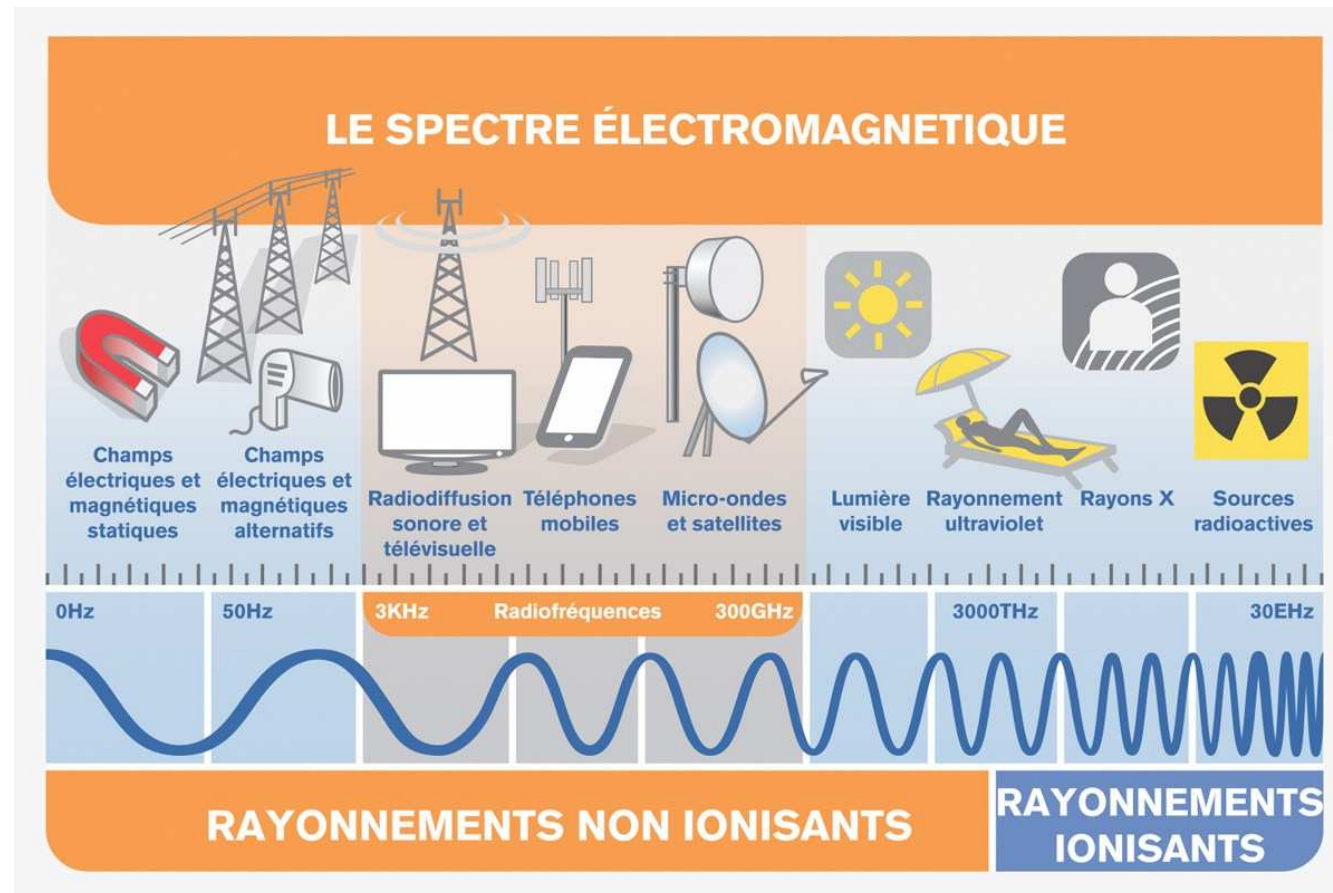
la longueur d'onde λ associée est : $\lambda = c / \nu$

les **ondes lumineuses visibles** correspondent au domaine : $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 800 \text{ nm}$
soit $7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \leq \nu \leq 3,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Attention !

la lumière n'est pas nécessairement visible à l'œil. Ce sont de fines particules dans l'air ou un écran qui, en **diffusant** la lumière, permet de la voir.

Chapitre I : Lois générales de l'optique

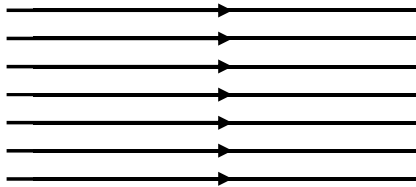


Chapitre I : Lois générales de l'optique

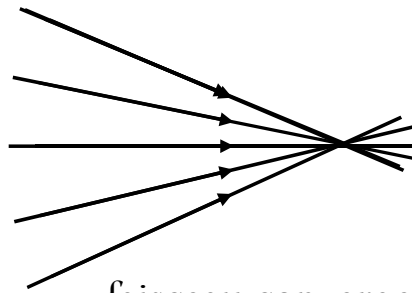
Dans le **vide**, tout comme dans un **milieu linéaire, homogène, isotrope et transparent**, la **lumière se propage en ligne droite**.

La droite ou portion de droite suivie par la lumière s'appelle **rayon lumineux**. Un rayon lumineux matérialise le chemin effectivement suivi par l'énergie lumineuse.

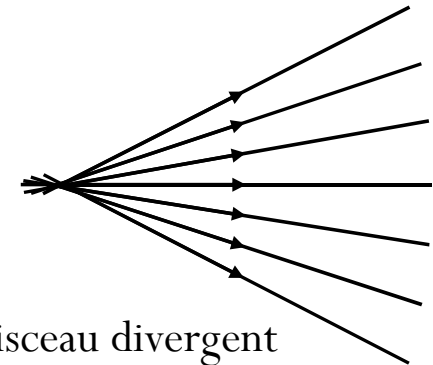
Un **faisceau lumineux** est un ensemble de rayons lumineux. Un faisceau lumineux peut être **parallèle, convergent** ou **divergent**.



faisceau parallèle



faisceau convergent

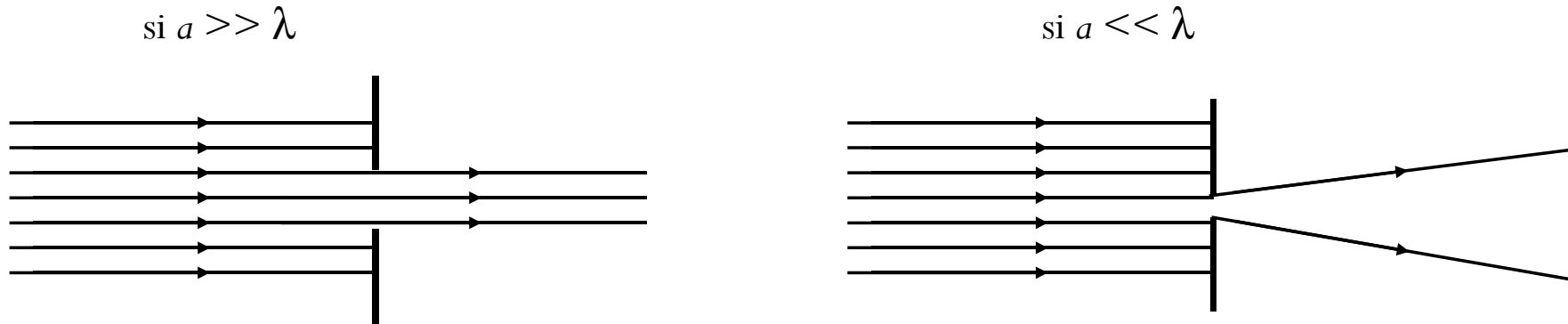


faisceau divergent

Un **pinceau de lumière** est un faisceau étroit.

Chapitre I : Lois générales de l'optique

Si on interpose sur le trajet du faisceau lumineux un **diaphragme** (plan opaque percé d'un trou de diamètre a):



Si les dimensions du trou a sont de l'ordre de grandeur ou inférieures à la longueur d'onde de la lumière, un **phénomène de diffraction** apparaît.

La lumière diffractée par le trou circulaire de diamètre a est essentiellement concentrée dans un cône de demi angle au sommet égal à $1,22 \lambda / a$.

Les lois de l'optique géométrique ne s'appliquent que dans le cas où on considère que la longueur d'onde est infiniment petite devant les dimensions des objets rencontrés.

Chapitre I : Lois générales de l'optique

III. Propagation de la lumière dans un milieu matériel

L'intensité lumineuse décroît lors de la propagation dans un milieu matériel. C'est le phénomène **d'absorption**. La loi de décroissance est en général une fonction exponentielle de la distance parcourue et dépend de la fréquence. Une absorption sélective permet d'expliquer la couleur des milieux presque transparents. Les interactions de la lumière avec un milieu matériel modifient la vitesse de propagation.

La vitesse de propagation V n'est plus la célérité c :

$$V = c / n$$

Où n est **l'indice de réfraction** du milieu (n est toujours supérieur à 1).

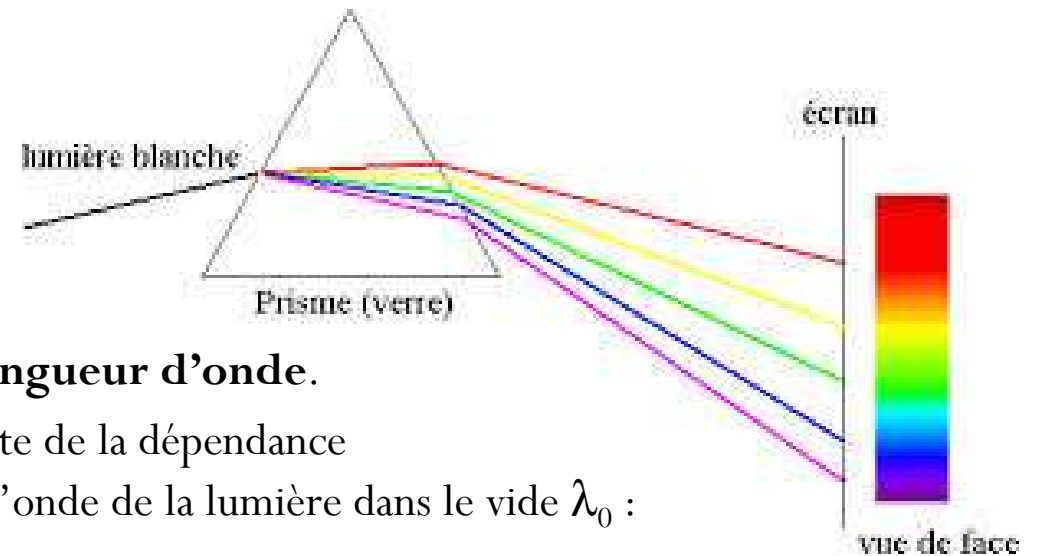
La **réfringence** d'un milieu est la caractéristique liée à la valeur de l'indice n de celui-ci: plus l'indice est élevé plus le milieu est réfringent.

Exemples ($\lambda = 589 \text{ nm}$) :	air	eau	silice fondue	Verre en crown	verre en flint*
$n =$	1,000277	1,333	1,458	1,520	1,650

*tel que le cristal

Chapitre I : Lois générales de l'optique

Dans un milieu matériel, les **radiations monochromatiques de différentes longueurs d'onde** se propagent à des **vitesse différentes**. Un tel matériau est dit **dispersif**.



L'indice de réfraction est donc **fonction de la longueur d'onde**.

La **relation empirique de Cauchy** rend ainsi compte de la dépendance de l'indice de réfraction n en fonction de la longueur d'onde de la lumière dans le vide λ_0 :

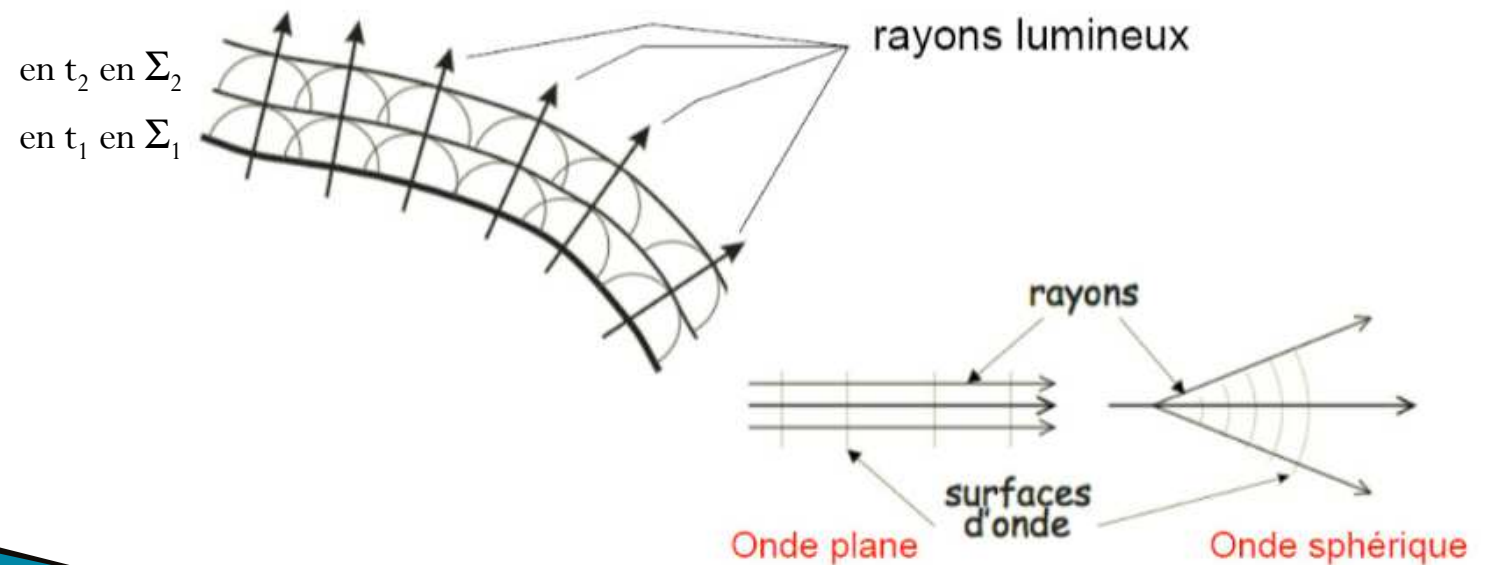
$$n(\lambda_0) \approx A + B / \lambda_0^2$$

Chapitre I : Lois générales de l'optique

IV. Principe de Huygens

Énoncé :

La lumière se propage de proche en proche. L'ensemble des points d'égale perturbation lumineuse est appelé **surface d'onde**. Chacun des points de cette surface atteint par la lumière se comporte comme une surface secondaire qui émet des ondelettes. La surface enveloppe de ces ondelettes forme une nouvelle surface d'onde.



Chapitre I : Lois générales de l'optique

Pour construire à partir de la surface d'onde Σ_1 à l'instant t_1 la surface d'onde Σ_2 en t_2 voisin de t_1 : $t_2 = t_1 + dt$

La distance parcourue par l'onde pendant l'intervalle de temps dt est : $d\ell = V dt$

En introduisant l'indice de réfraction n et la célérité c , la durée dt s'écrit :

$$dt = d\ell / V = n d\ell / c$$

Dans le cas d'une propagation finie entre deux points A et B, le **chemin optique** est donnée par :

$$L = \int_{t_A}^{t_B} c dt = \int_A^B n d\ell = c (t_B - t_A)$$

Cette intégrale curviligne doit être calculée le long de la direction de propagation de l'onde qui, en tout point, est normale à la surface d'onde dans un milieu isotrope.

Le chemin optique est donc le chemin parcouru par la lumière dans le vide pendant la durée de propagation dans le milieu considéré. C'est la durée de la propagation de la lumière mesurée en mètre, c étant un facteur de conversion (la célérité c est une constante universelle de la physique).

Chapitre I : Lois générales de l'optique

V. Principe de Fermat

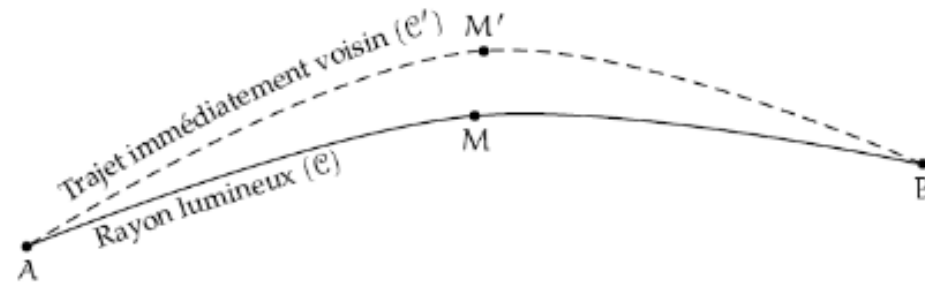
Énoncé :

La lumière se propage d'un point à un autre sur une trajectoire telle que la durée du parcours soit minimale.

Dans l'énoncé actuelle de ce principe, on remplace minimale par stationnaire.

Soient deux points A et B atteints par la lumière et entre eux une trajectoire C' qui a priori n'est pas la trajectoire de la lumière. Soit une trajectoire C' obtenue en déformant la trajectoire C par un déplacement δM entre M et M' tel que $\delta A = \delta B = 0$.

Le chemin optique L est stationnaire si la quantité élémentaire $\delta L = L' - L$ est infiniment petite par rapport à la valeur supérieure de δM .



Chapitre I : Lois générales de l'optique

Conséquences :

Dans un milieu matériel homogène, l'indice de réfraction est uniforme :

$$L = \int_A^B n \, d\ell = n \widehat{AB}$$

Il en résulte que L est minimal si **la trajectoire AB est une droite AB .**

Dans un milieu homogène, **la lumière se propage en ligne droite.**

D'autre part :

$$L_{AB} = \int_A^B n \, d\ell = - \int_B^A n \, d\ell = \int_B^A n \, d\ell' = L_{BA}$$

Si $d\ell = - d\ell'$ désigne l'élément curviligne orienté de B vers A.

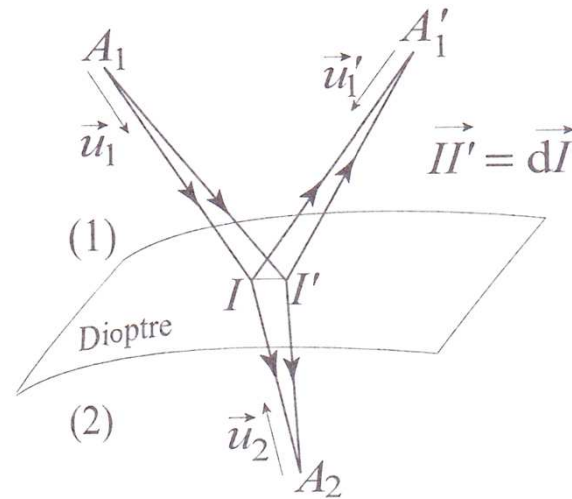
Comme L_{AB} est stationnaire, alors L_{BA} l'est aussi.

Le trajet suivi par la lumière ne dépend pas de son sens de parcours.

Chapitre I : Lois générales de l'optique

VI. Lois de Descartes-Snell

Ces lois ont été trouvés par **Al Haytham** au XI^e siècle puis par **Snell** en 1621 et par **Descartes** en 1637. Elles expriment le **changement de direction par réflexion ou réfraction** d'un rayon lumineux au passage d'une surface (**dioptre**) qui sépare deux milieux homogènes d'indice de réfraction différent.



Chapitre I : Lois générales de l'optique

Enoncés des lois de Descartes-Snell :

A_1 , A_2 et I sont dans un plan orthogonal au dioptre.

Loi 1 : le rayon réfracté est dans le plan d'incidence

Si on projette le vecteur $n_1 \vec{U}_1 + n_2 \vec{U}_2$ suivant la tangente au dioptre, sachant qu'il est normal à celui-ci :

Loi 2 : $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

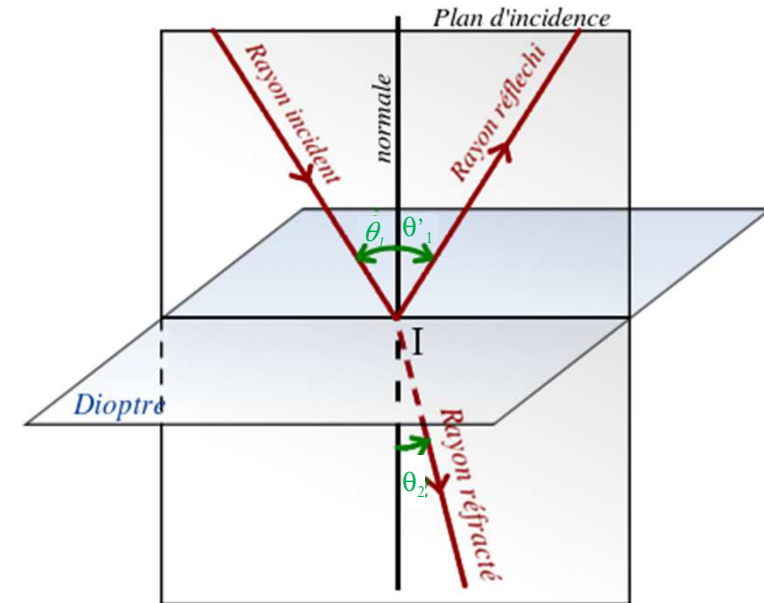
Si le rayon incident est réfléchi, $n_2 = n_1$

A_1 , A_1' et I sont dans un plan orthogonal au dioptre.

Loi 3 : le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence

Si on projette le vecteur $\vec{U}_1 + \vec{U}_1'$ suivant la tangente au dioptre, sachant qu'il est normal à celui-ci :

Loi 4 : $\sin \theta_1 = \sin \theta_1'$ et donc $\theta_1 = \theta_1'$



Chapitre I : Lois générales de l'optique

Principe de Huygens appliqué à la réfraction

Les ondes restent en phase: même temps de parcours

Rayon 1 : $T_1 = AC / V_2$

Rayon 2 : $T_2 = DB / V_1$

D'où $AC / V_2 = DB / V_1$

$$C / V_2 \cdot AC = C / V_1 \cdot DB$$

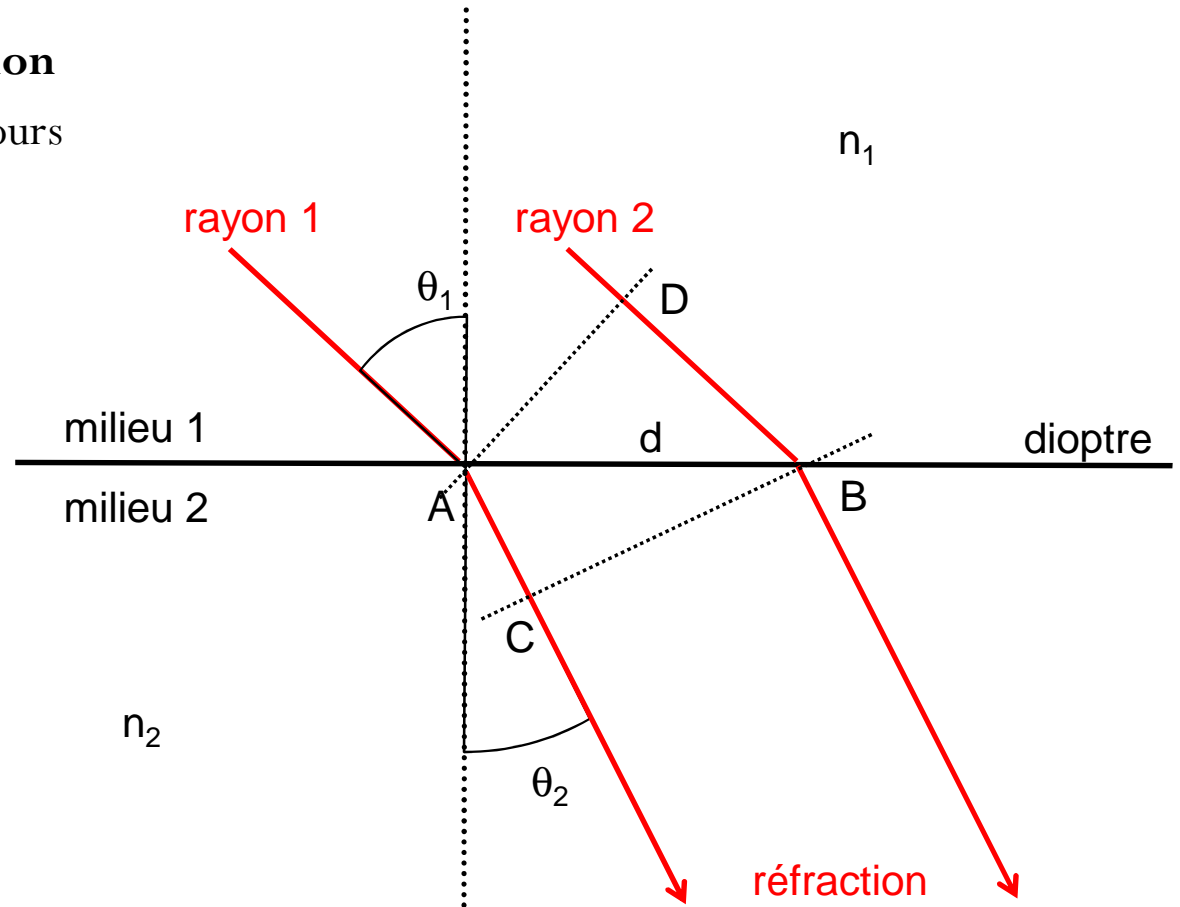
$$n_2 \cdot AC = n_1 \cdot DB$$

$$n_2 \cdot AC / d = n_1 \cdot DB / d$$

or $AC / d = \cos(\pi/2 - \theta_2) = \sin \theta_2$

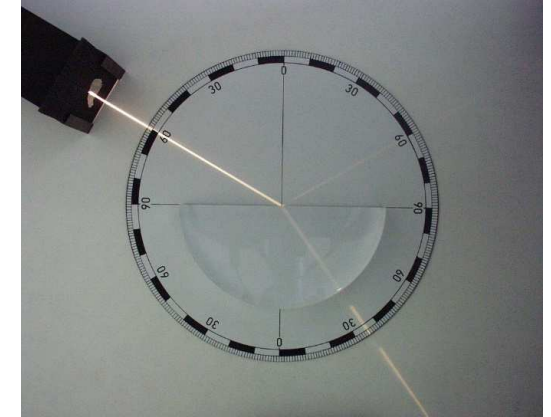
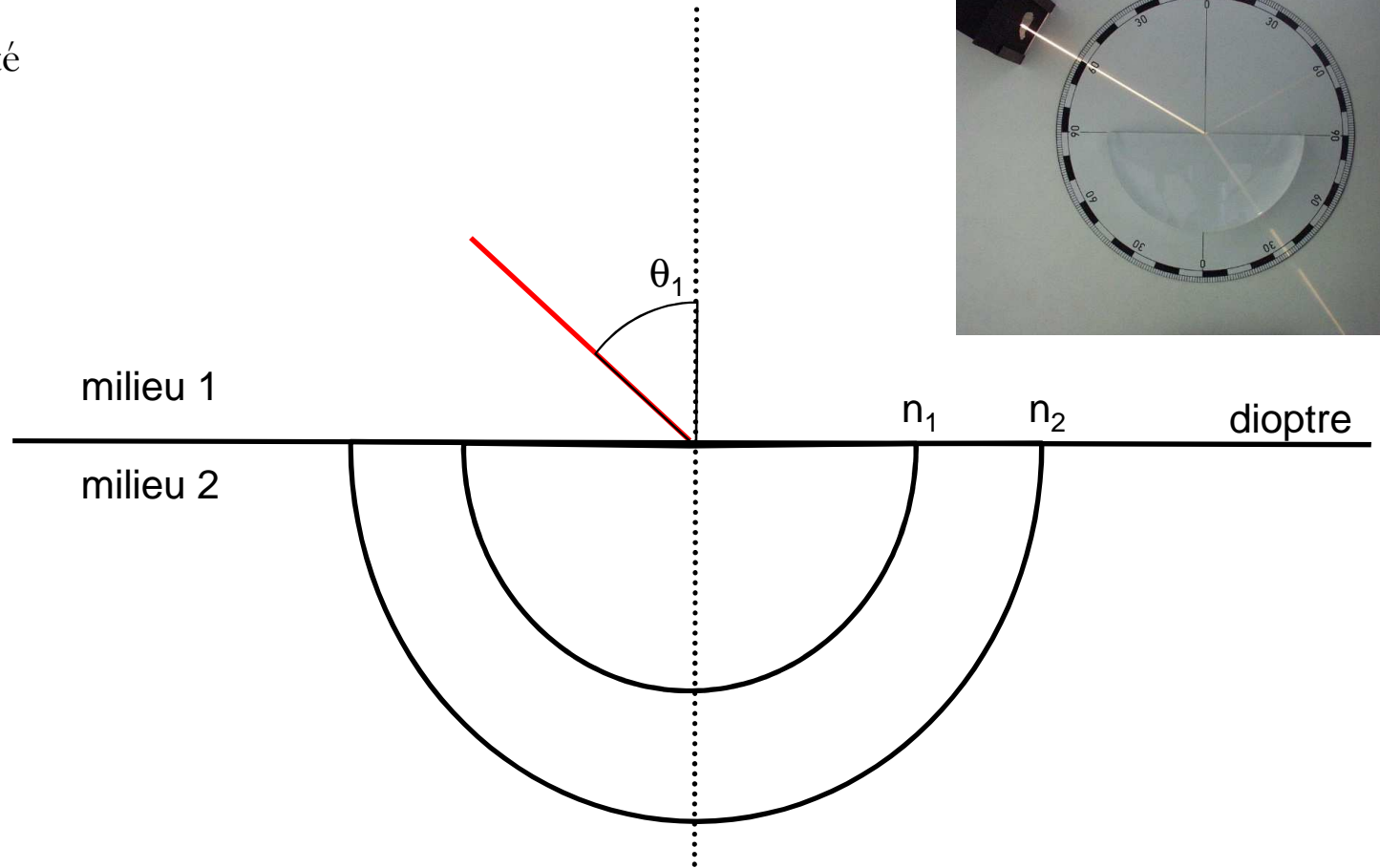
$$DB / d = \cos(\pi/2 - \theta_1) = \sin \theta_1$$

Et donc $n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$



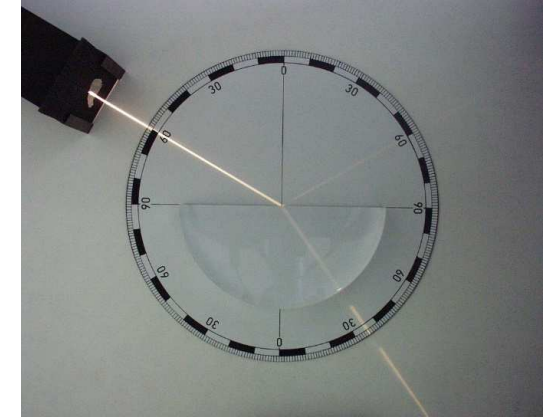
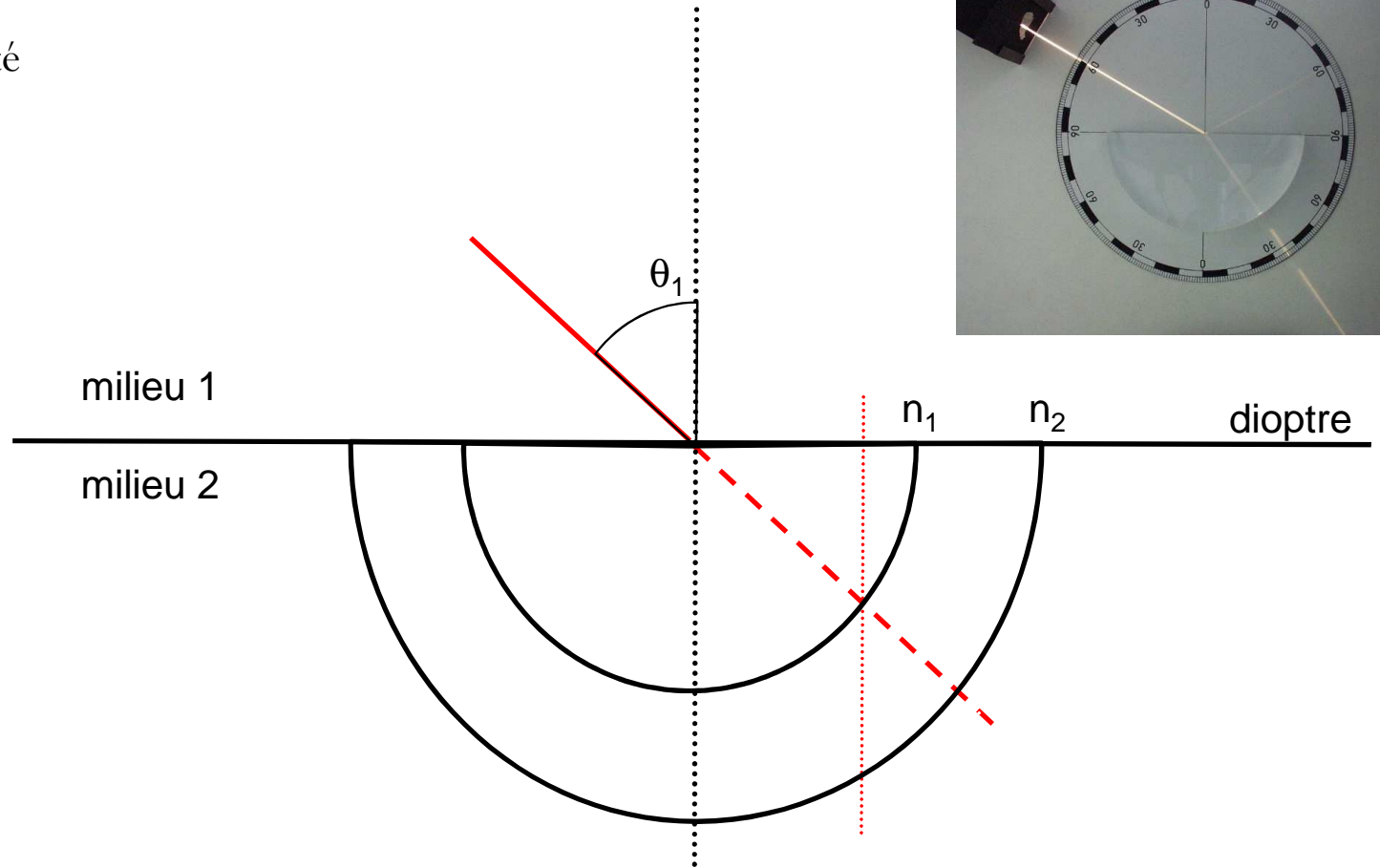
Chapitre I : Lois générales de l'optique

Construction du rayon réfracté



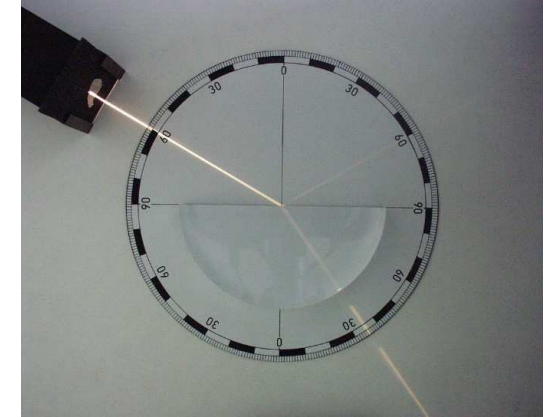
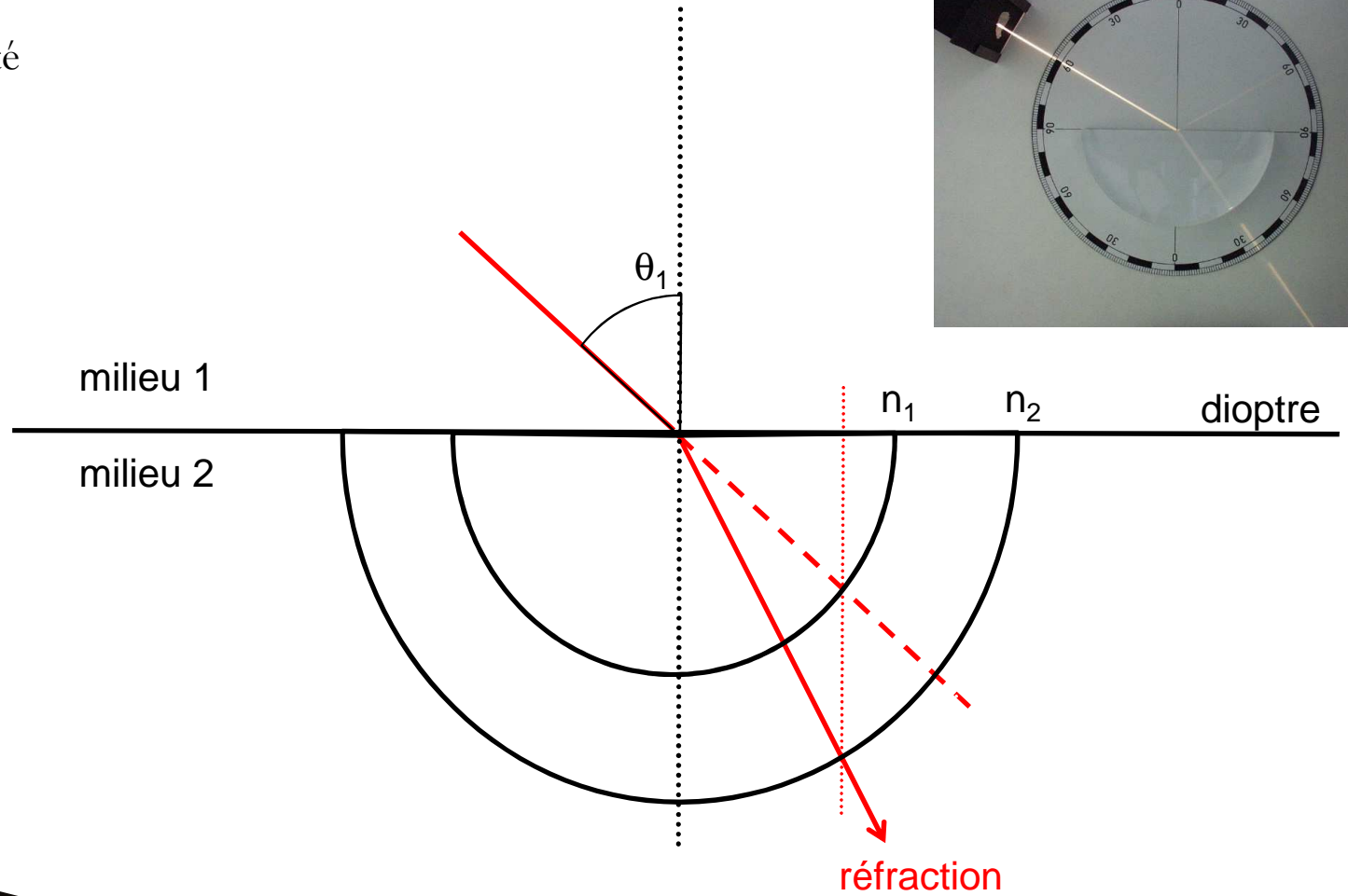
Chapitre I : Lois générales de l'optique

Construction du rayon réfracté



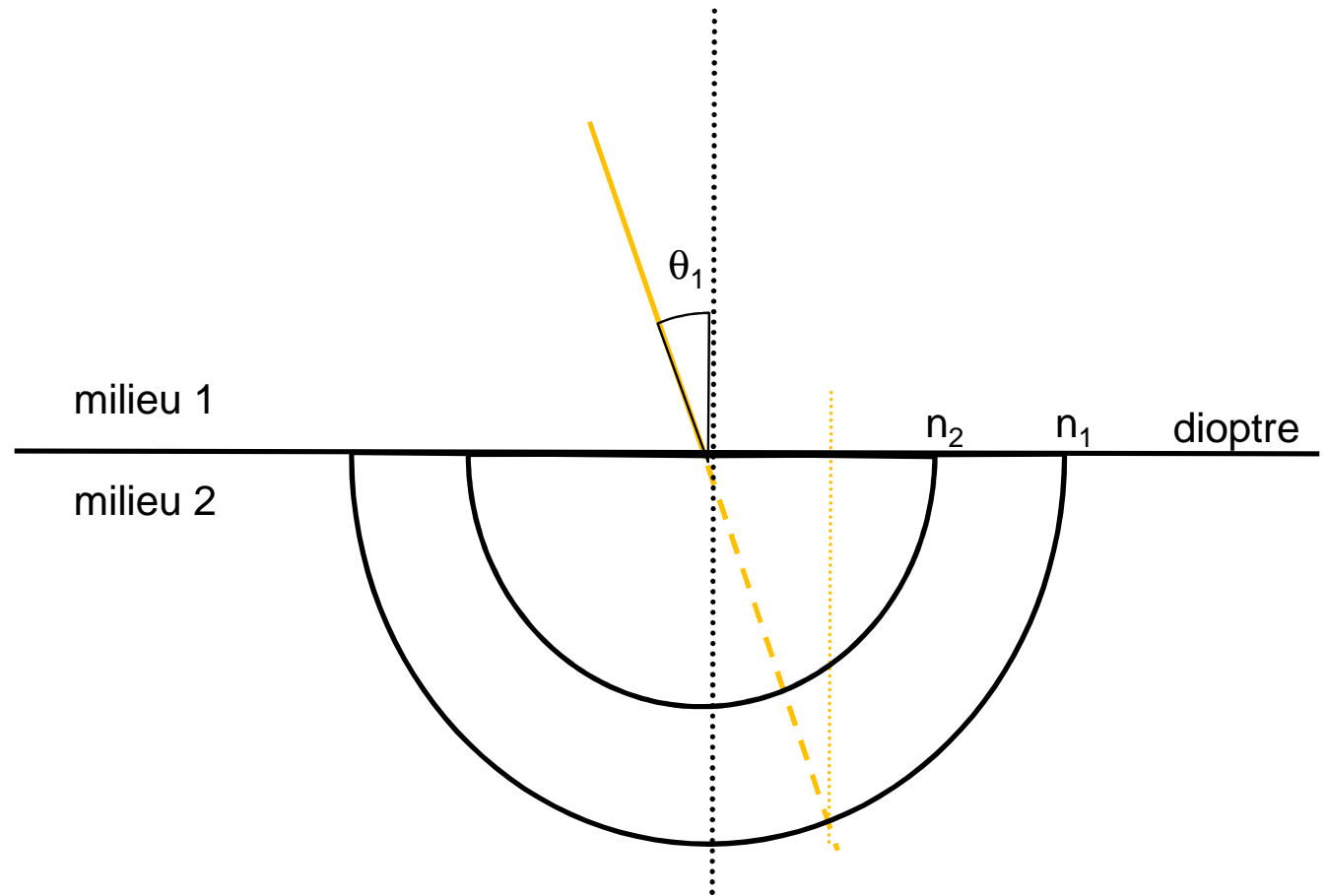
Chapitre I : Lois générales de l'optique

Construction du rayon réfracté



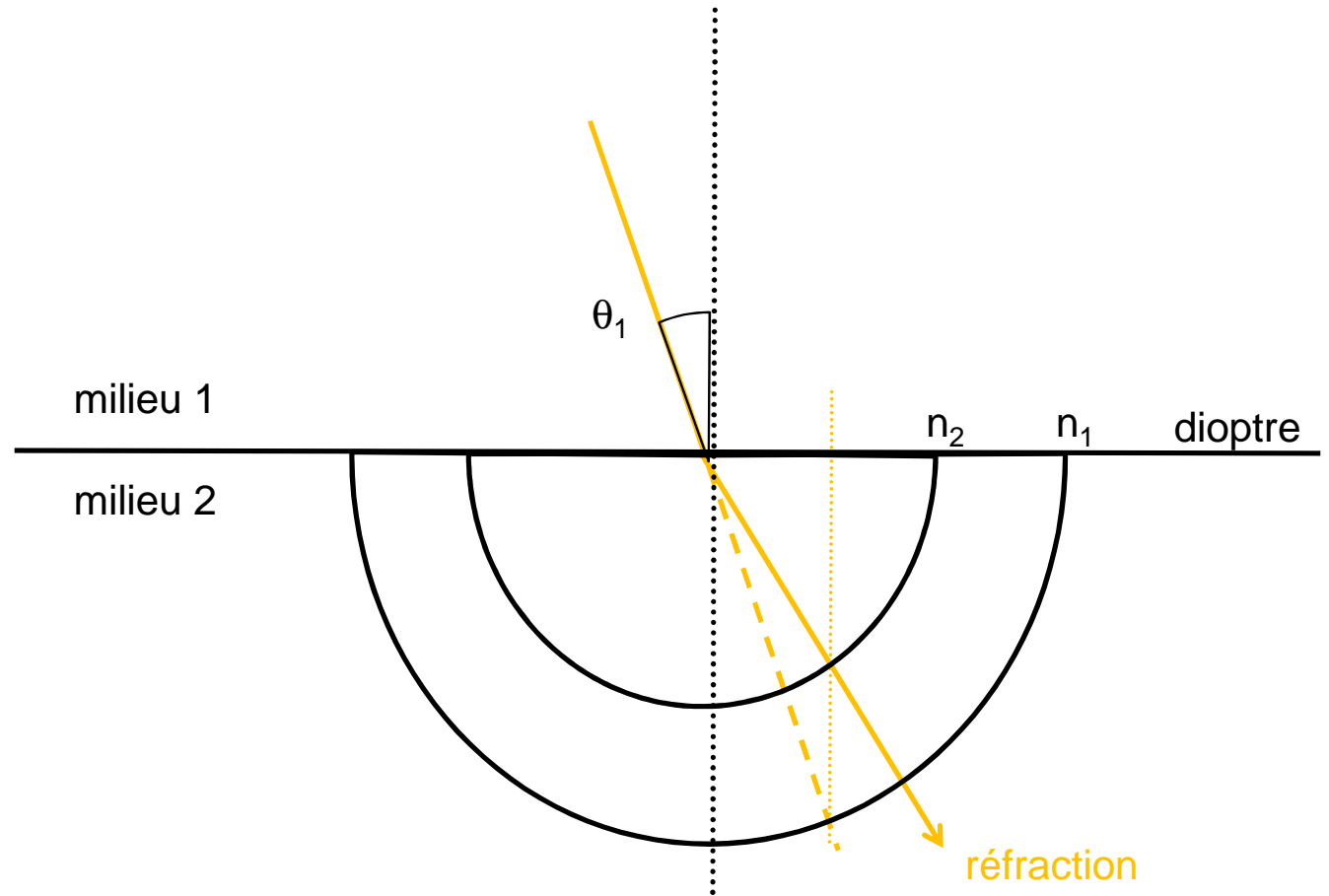
Chapitre I : Lois générales de l'optique

Construction du rayon quand $n_1 > n_2$



Chapitre I : Lois générales de l'optique

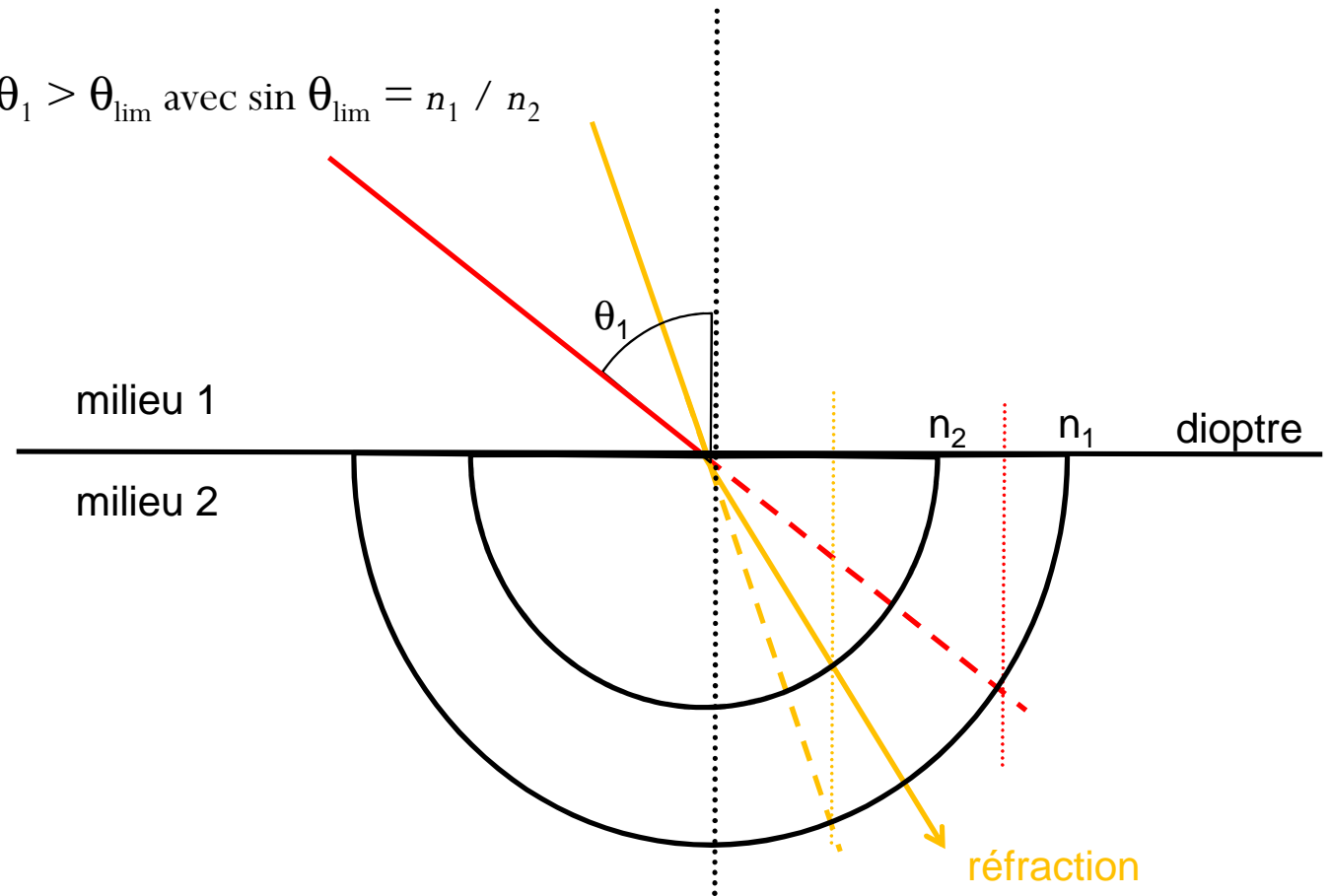
Construction du rayon quand $n_1 > n_2$



Chapitre I : Lois générales de l'optique

Construction du rayon réfléchi

Il y a réflexion totale quand $n_1 > n_2$ et $\theta_1 > \theta_{\text{lim}}$ avec $\sin \theta_{\text{lim}} = n_2 / n_1$



Chapitre I : Lois générales de l'optique

Construction du rayon réfléchi

Il y a réflexion totale quand $n_1 > n_2$ et $\theta_1 > \theta_{\text{lim}}$ avec $\sin \theta_{\text{lim}} = n_2 / n_1$

