

Chap 1 : Introduction et Rappels sur réflexion/réfraction

Notions abordées : Longueur d'onde / grandeur caractéristique de la lumière / Différents modèles en optique / Indice de réfraction / Loi de Cauchy / Lois de Snell-Descartes, conséquences / Exemple du prisme

I. Longueur d'onde, grandeur caractéristique de la lumière

La LUMIÈRE émise par la matière dans certaines conditions se manifeste par son action sur divers récepteurs

L'oeil ne perçoit que la lumière dans le domaine du **VISIBLE** alors que d'autres récepteurs perçoivent la lumière **INFRAROUGE** et **ULTRAVIOLET**.

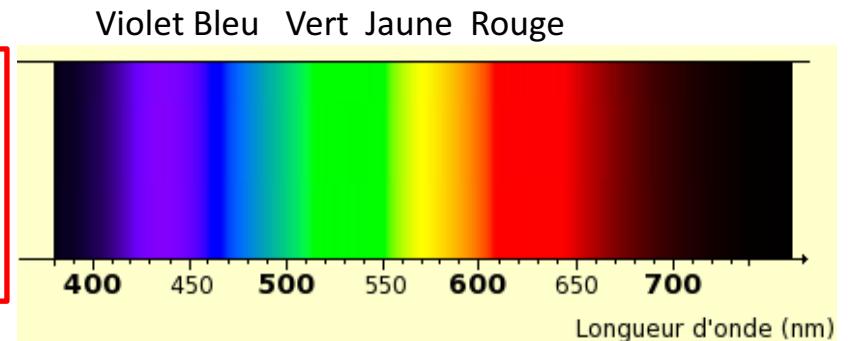
Grandeur caractéristique de l'onde lumineuse : La longueur d'onde λ

Rappel $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$ $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$

Domaine du visible : entre 380 et 780 nm soit environ entre 0,4 et 0,8 μm

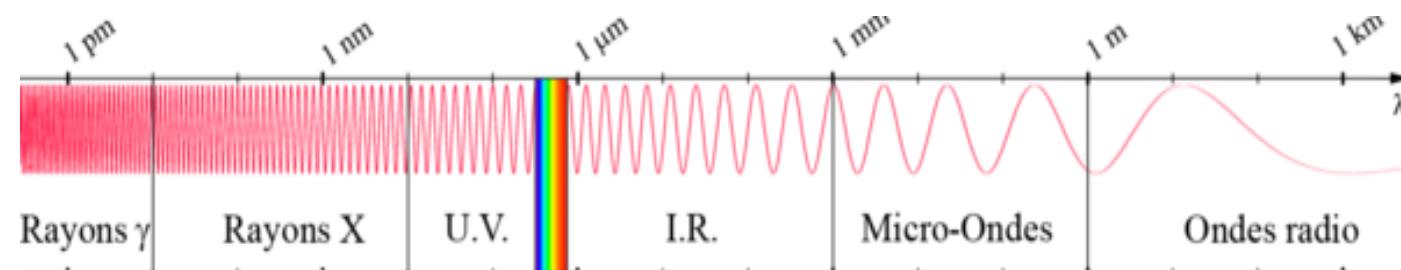
Plus petites longueurs d'onde : UV Ultra-Violet

Plus grandes longueurs d'onde : IR Infra-Rouge



Lumière **polychromatique** : plusieurs longueurs d'onde (lumière blanche)

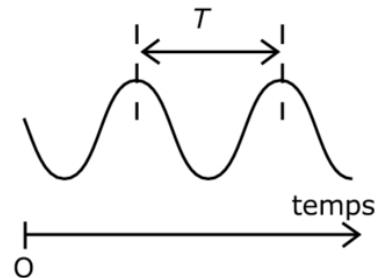
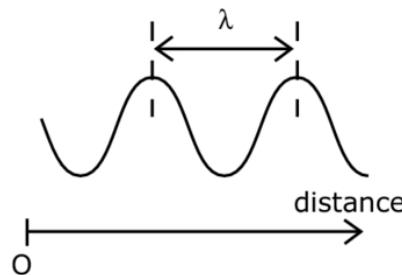
Lumière **monochromatique** : une seule longueur d'onde (lumière blanche + filtre ou lumière issue d'un laser)



Différents domaines de longueur d'onde

On définit la longueur d'onde λ comme la distance au bout de laquelle la lumière retrouve des propriétés identiques (période dans l'espace)
=> s'exprime en mètres

Si la lumière se déplace à une vitesse v , on considère que la longueur d'onde correspond à la distance parcourue par la lumière pendant une période dans le temps T :



$$\lambda = vT$$

T en seconde (s)

$T=1/f$

f fréquence en Hertz (Hz)

v vitesse de propagation (m/s)

Dans le vide ou dans l'air $v = C$ célérité de la lumière $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ => $\lambda = CT = \lambda_0$

II Différents modèles en optique géométrique

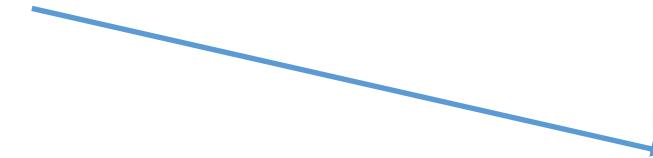
1) Optique géométrique

La lumière est modélisée par des **rayons lumineux** dont on étudie le trajet

1621 lois de Snell, 1637 Lois de Descartes (les mêmes) lois déduites de l'expérience => lois de **Snell-Descartes**

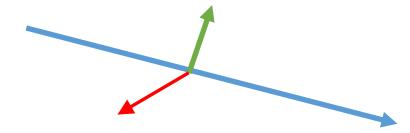
1657 principe de **Fermat** : **la lumière met un temps minimal pour aller d'un point à un autre => la lumière se propage rectilignement** dans un milieu **homogène** (mêmes propriétés en tous points du milieu) et **isotrope** (en un point donné du milieu , mêmes propriétés dans toutes les directions)

Rayon lumineux :



2) Optique ondulatoire

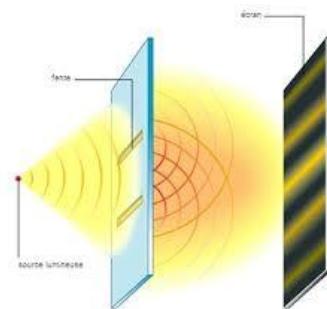
La lumière est modélisée par une **onde électromagnétique** avec un champ électrique **E** et un champ magnétique **B** tous deux perpendiculaires à la direction de propagation de la lumière



1880 Théorie de Maxwell => équations qui permettent d'écrire ces champs E et B en fonction du temps et de la position de l'onde

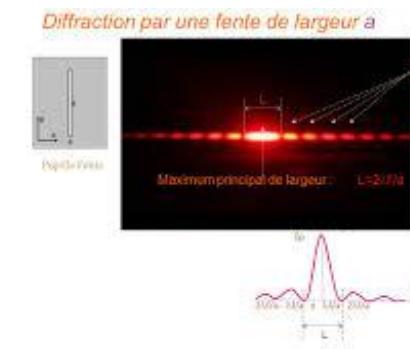
Cela permet d'interpréter des phénomènes qu'on ne peut pas interpréter seulement avec l'optique géométrique comme

- Les interférences



- la diffraction

(négligée en optique géométrique)



3) Optique corpusculaire

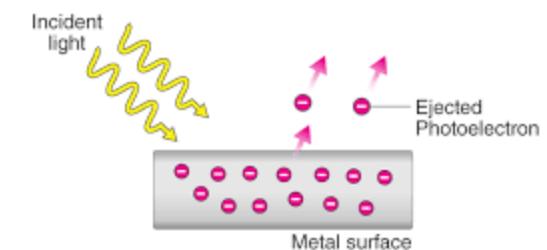
La lumière est modélisée par des **photons** : les atomes excités par suite de collisions se désexcitent en émettant des photons . Théorie d'Einstein (1905)

Ces photons correspondent à des quantités d'énergie **$E = hf = hc/\lambda$**

(puisque $\lambda = CT = C/f \Rightarrow f = C/\lambda$) Conséquence : **E plus grande aux plus courtes λ**

E en Joule, h constante de Planck $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Js

Cela permet d'interpréter les phénomènes photoélectriques



III. Indice de réfraction d'un milieu

1) Définition

L'indice de réfraction d'un milieu est égal au rapport de la vitesse C de la lumière dans le vide par la vitesse v de la lumière dans ce milieu
 $n = C/v$ **n sans unité**

Dans le vide $v = C \Rightarrow n = 1$

Dans l'air on montre que $n = 1,000293 \approx 1$ $v \approx C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Dans un autre milieu $v < C \Rightarrow n > 1$ Exemple eau $n = 1,33$ verre $n=1,5$...

Donc **$n \geq 1$**

n est constant **pour une longueur d'onde donnée** dans un milieu **homogène et isotrope**

2) Conséquence sur la longueur d'onde

Dans l'air ou dans le vide : $v = C$, $\lambda_0 = CT = C/f$

Dans un milieu d'indice n , $v = C/n$, $\lambda = vT = v/f = C T/n = \lambda_0 /n$

Longueur d'onde : dépend du milieu

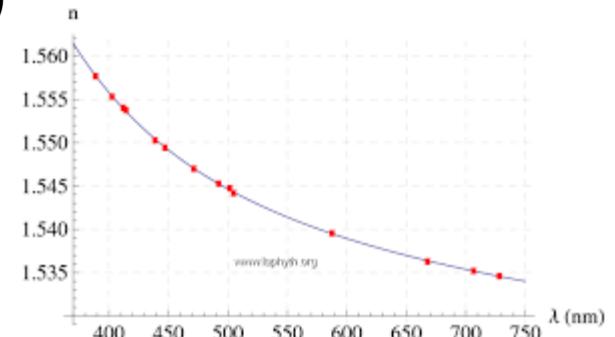
Fréquence : grandeur intrinsèque

3) Loi de Cauchy

En première approximation, on montre que **$n = A + B/(\lambda^2)$** avec A et B constantes dépendant du milieu (positives), n sans unité => A sans unité , B en m^2 (ou selon l'unité de λ , B en μm^2)

Exemple : pour l'eau $n= 1,338$ à 480nm $n= 1,333$ à 590 nm $n = 1,331$ à 660 nm

pour le verre : courbe de dispersion ci-contre



Cette variation de l'indice avec la longueur d'onde est à l'origine du [phénomène de dispersion](#) :

la lumière n'est pas déviée de la même façon à la traversée d'une surface de séparation entre deux milieux selon sa longueur d'onde

Exemple : arc en ciel, prisme



Résumé

λ Période dans l'espace en m , longueur d'onde

T période dans le temps en seconde (s) $T=1/f$ f fréquence en Hertz (Hz)

v vitesse de propagation (m/s)

Dans le vide ou dans l'air $v = C$ célérité de la lumière $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ $\Rightarrow \lambda = CT = C/f = \lambda_0$

Dans un milieu d'indice n , $v = C/n$, $\lambda = vT = v/f = C T/n = \lambda_0 / n$

Longueur d'onde : dépend du milieu Fréquence : grandeur intrinsèque

$$1\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} \quad 1\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

Domaine du visible : entre 380 et 780 nm soit environ entre 0,4 et 0,8 μm

Plus petites longueurs d'onde : UV Ultra-Violet

$$E = hf = hC/\lambda \quad E \text{ énergie en Joule}$$

Plus grandes longueurs d'onde : IR Infra-Rouge

n dépend de la longueur d'onde : Loi de Cauchy $n = A + B/(\lambda^2)$

=> phénomène de dispersion

A et B constantes dépendant du milieu (positives)

Exercice 1

Une radiation lumineuse a pour longueur d'onde dans le vide $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$. Quelle est sa période, sa fréquence?

Exercice 2

La fréquence d'une radiation lumineuse est $4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. Calculer sa longueur d'onde dans l'air. En déduire sa couleur.

Mêmes questions pour une radiation lumineuse de fréquence $7,2 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

Exercice 3

Une lampe à vapeur de sodium émet une radiation de période $1,963 \cdot 10^{-15} \text{ s}$ dans l'air. Cette radiation se propage à la célérité $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. Calculer sa fréquence et sa longueur d'onde. Quelle est sa couleur ?

Exercice 4

Un signal lumineux met 0,3ms pour parcourir une distance de 60km dans une fibre optique d'un réseau de télécommunications. Calculer la vitesse de propagation de la lumière dans le verre constituant la fibre optique. En déduire l'indice du verre constituant la fibre.

Exercice 5 -

En mesurant l'indice d'un verre pour différentes longueurs d'ondes, on détermine les coefficients A et B intervenant dans la loi de Cauchy : $n = A + B/\lambda^2$

Sachant que l'on trouve pour un verre de crown, $A = 1,4906$ et $B = 0,0068 \mu\text{m}^2$, compléter le tableau suivant :

$\lambda (\text{nm})$	400	500		700	
n			1,5095		1,5

Commenter les unités de A et de B. Est-ce que la variation de n semble logique d'après la loi de Cauchy ?

Donner l'allure de la courbe $n(\lambda)$

Couleur	Longueur d'onde (en nm)	Fréquence (en 10^{14} Hz)
Autour de	400	7,5
Limite ultraviolet (UV)	420	7,14
Violet	440	6,8
Indigo (Violet bleu)	470	6,4
Bleu	500	6,00
Bleu-vert	530	5,7
Vert	560	5,36
Jaune-vert	580	5,27
Jaune	590	5,08
Jaune orangé	600	5,00
Orange	610	4,92
Rouge orangé	650	4,62
Rouge	780	3,85
Autour de		

IV. Lois de Snell-Descartes

1) Définitions

En bleu S surface de séparation entre deux milieux d'indice n_1 et n_2

A₁ rayon incident, R rayon réfléchi

A₂ rayon transmis ou réfracté

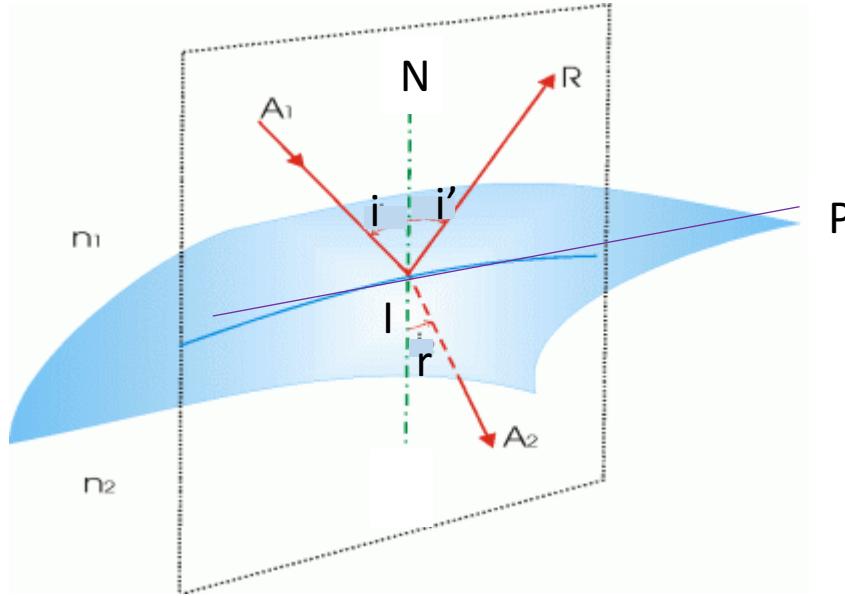
I point d'incidence , P plan tangent à S au point I

N normale à P (ou S si S est plan)

i angle d'incidence , i' angle de réflexion

r angle de transmission ou de réfraction

Plan contenant le rayon incident et la normale à P (ou à la S si S est plan) : plan d'incidence



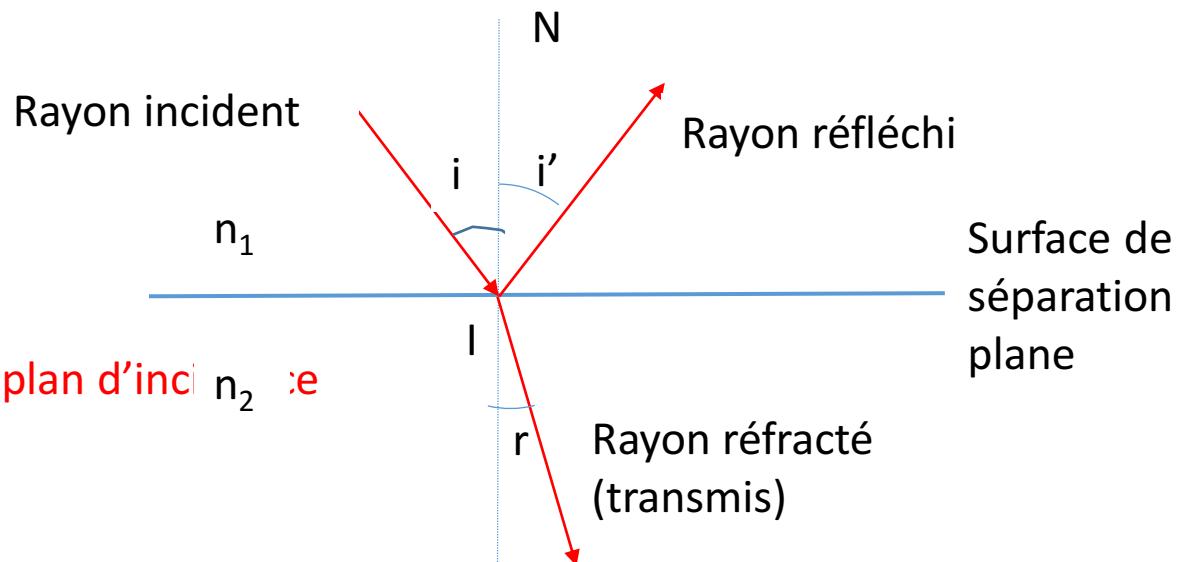
2) Lois de Snell-Descartes

1° Loi pour la réflexion : $i = i'$

2° Loi pour la réfraction : $n_1 \sin i = n_2 \sin r$

3° Les trois rayons sont dans le même plan

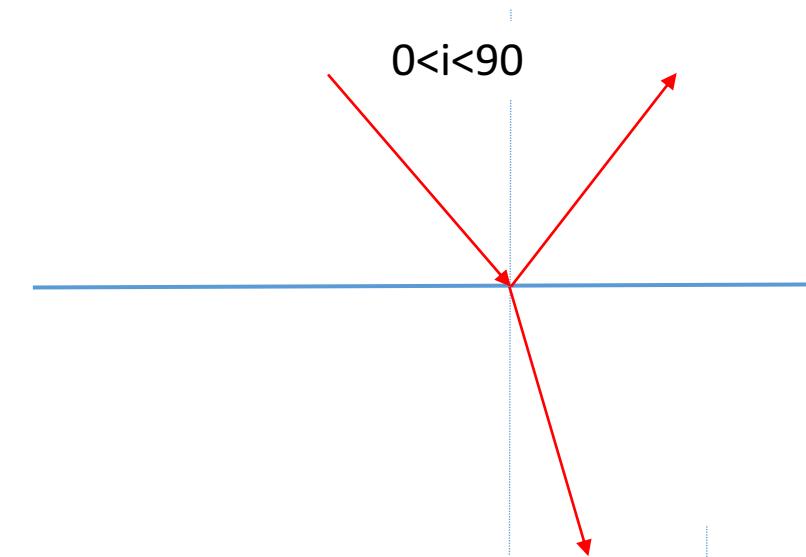
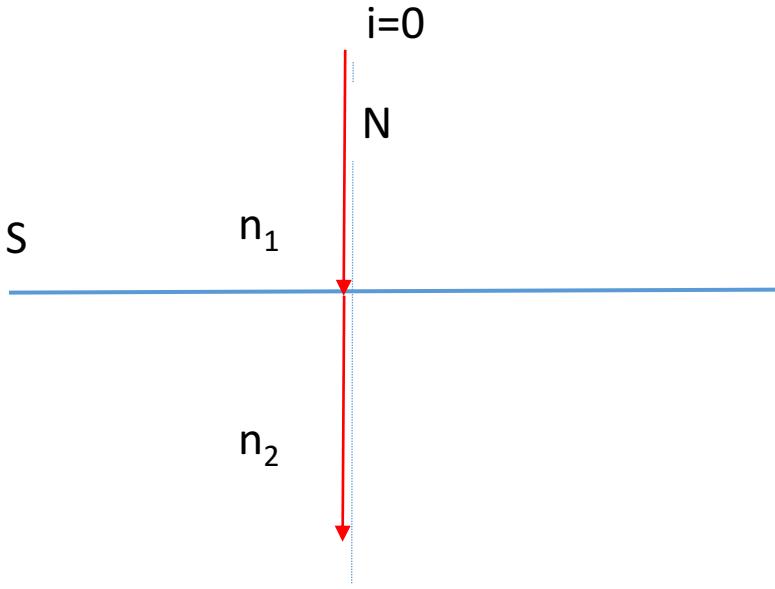
⇒ le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont dans le plan d'incidence



c) Cas où $n_1 < n_2$

Par exemple air=>verre

Plus petite valeur de i : **i=0 incidence normale** $\Rightarrow \sin i = 0 \Rightarrow \sin r = 0 \Rightarrow r = 0$ ($n_1 \sin i = n_2 \sin r$)



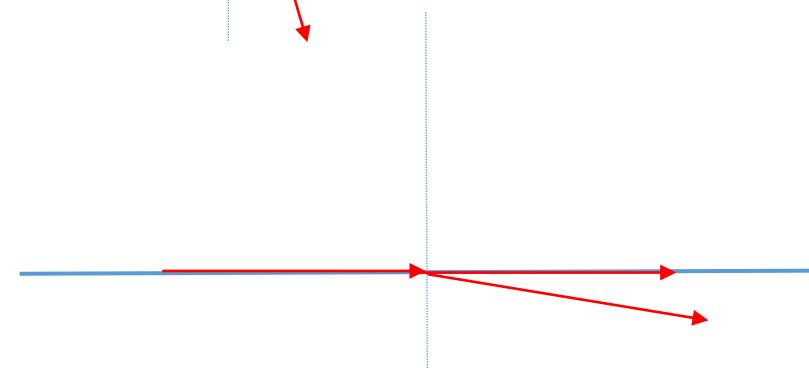
Plus grande valeur de i : **i=90° incidence rasante**

On a donc i compris entre 0 et 90° , de même pour r

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

$n_1 < n_2 \Rightarrow \sin i > \sin r \Rightarrow i > r$ car i et r compris entre 0 et 90° (fonction croissante du sinus)

quand i atteint 90° , r atteint une valeur max mais il y a toujours un rayon réfracté



d) Cas où $n_1 > n_2$

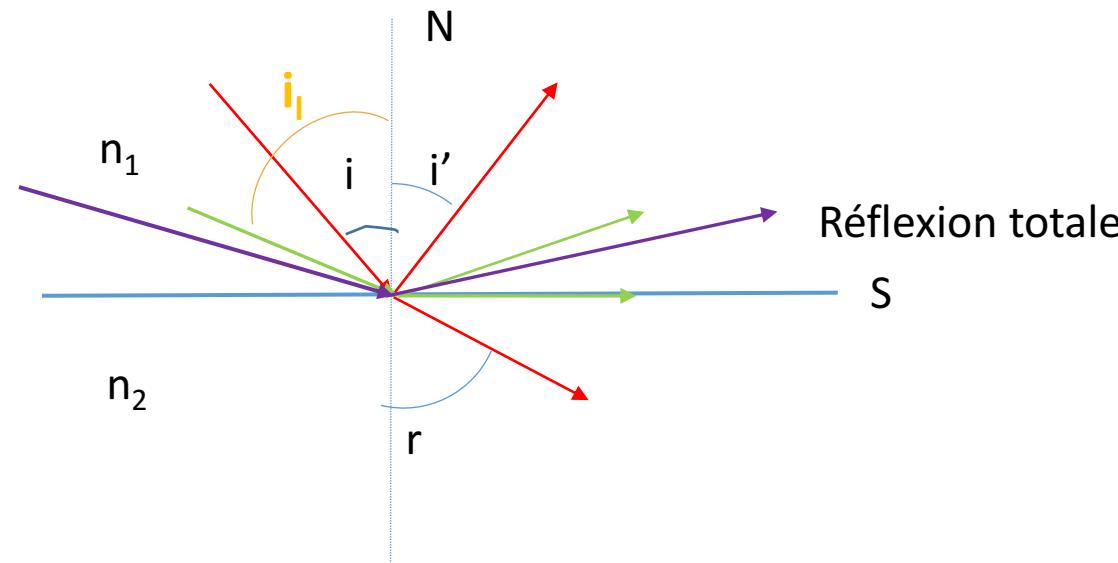
Passage d'un milieu **plus réfringent** vers un milieu **moins réfringent** ex : verre=> air

On a toujours $n_1 \sin i = n_2 \sin r$

$n_1 > n_2 \Rightarrow \sin i < \sin r \Rightarrow i < r$

3 situations différentes en

rouge, vert et violet



Il existe un angle limite i_l pour lequel r atteint 90° (en vert) et au delà duquel il y a réflexion totale (en mauve)

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

$$\text{Pour } i = i_l, \quad n_1 \sin i_l = n_2 \quad (r = 90^\circ \Rightarrow \sin r = 1) \Rightarrow i_l = \arcsin(n_2 / n_1)$$

Application : prisme à réflexion totale

Dioptre : surface de séparation entre deux milieux d'indices de réfraction différents



Prisme : formé par l'association de deux dioptres non parallèles
Cas d'un prisme de verre avec deux angles égaux à 45° et un angle de 90° éclairé en incidence normale

En coupe :

