Chapitre I : Sources lumineuses, modèle de l'optique géométrique

I Sources lumineuses :

1) Nature de la lumière :

- Théorie corpusculaire : (Newton) lumière représentée par des corpuscules, modélisés par des rayons qui se propagent rectilignement.

- Théorie ondulatoire : (Huygens) lumière caractérisée par une onde

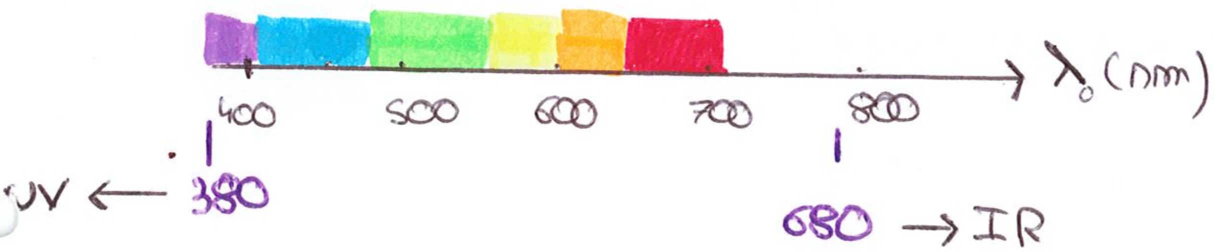
↳ φ quantique (XX^{ème} siècle) met en évidence la dualité onde - corpuscule : la lumière présente à la fois un comportement ondulatoire et un comportement corpusculaire

2) Spectre de la lumière :

Définition : Spectre : Description d'un signal par les fréquences (ou les longueur d'onde) qui le composent.

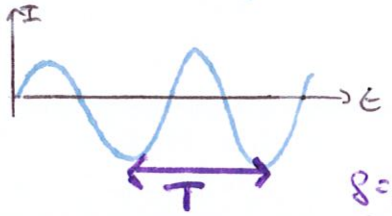
Le spectre d'une radiation lumineuse peut être obtenu en utilisant un prisme ou un réseau diffractant.
Le spectrophotomètre utilise un réseau. Il donne la courbe $I = f(\lambda)$ (chimie)

Exemple : Spectre visible



cf Doc 1

Une onde électromagnétique sinusoïdale (= composée d'une seule fréquence) est appelée **onde monochromatique**.



$f = \frac{1}{T}$

(En réalité n'existe pas car pas de début ni de fin)

| La lumière est constituée d'une infinité d'ondes monochromatiques.

- Une source peut être **polychromatique** (= constituée de plusieurs longueurs d'onde)

  Ex : soleil, lampe incandescence, lampe sodium

  ou **monochromatique** (= constituée d'une seule longueur d'onde)

- Le spectre peut être un **spectre continu**

  Ex : soleil, lampe incandescence, ... = sources thermiques cf doc 2/3

  ou un **spectre de raies**

  Ex : Laser (lampes sodium, ...) = sources spectrales cf doc 4/5

  ou sources laser cf doc 6/7

- Une source peut être considérée **ponctuelle** (≠ étendue) si la lumière provient d'un unique point.

  ↳ on le fera dans la suite du cours

II Modèle de l'optique géométrique :

1) Cadre du modèle :

Approximation de l'optique géométrique :

les longueurs caractéristiques des objets rencontrés (diamètre lentille, diaphragme, ...) sont très grandes devant la longueur d'onde λ

$$\boxed{d \gg \lambda} \quad (d > 1000\ \lambda)$$

Dans ce cas, les aspects ondulatoires de la propagation de la lumière (diffraction, interférences) sont négligeables. cf doc 8

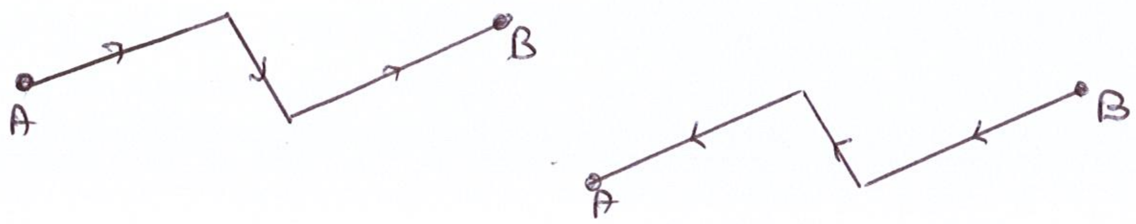
Rayons lumineux :

La propagation de la lumière est décrite à l'aide de la notion de rayon lumineux

Propriétés :

- **propagation rectiligne** Dans un milieu transparent (indice n), homogène (n ne varie pas avec la position) et isotrope (n ne varie pas avec la direction)
  les rayons lumineux se propagent en ligne droite

- **Principe du retour inverse de la lumière :** Le trajet suivi par la lumière entre 2 pts du m̂ rayon ne dépend pas du sens de propagation de la lumière.



- **Indépendance des rayons lumineux :** Il n'y a pas de phénomène d'interférences les rayons qui se croisent n'interagissent pas entre eux, ils se propagent indépendamment l'un de l'autre

2) Propagation dans le vide

- vitesse de propagation : $c = 299\ 792\ 458\ m.s^{-1}$
  $c \simeq 3{,}00.10^8\ m.s^{-1}$

- spectre visible : $\lambda_0 \in [380, 680]\ nm$

- couleur lumière liée à sa longueur d'onde dans le vide λ_0

  tableau

- Relations : $c = \lambda_0 \nu$ $\quad c = \frac{\lambda_0}{T}$ $\quad \nu = \frac{1}{T}$

3) Propagation dans un milieu transparent :

Dans ce cours, on étudie les milieux :

- transparents : ils n'absorbent pas d'énergie lumineuse

  linéaires : pas de modification de la fréquence au cours de la propagation

  homogènes : les propriétés sont identiques en tout point (x et $x + \Delta x$)

  isotropes : les propriétés sont identique dans toutes les directions (x et y)

Indice de réfraction : défini tel que la vitesse de propagation de la radiation lumineuse dans le milieu d'indice n

soit $\boxed{v = \frac{c}{n}}$

Ex
$n(\text{vide}) = 1{,}0$
$n(\text{Air}) = 1{,}00029 \simeq 1$
$n(\text{eau}) = 1{,}3$
$n(\text{verre}) = 1{,}5$
$n(\text{diamant}) = 2{,}4$

Rq : $v < c$ donc $n > 1$

$v = \lambda \nu$
λ dépend du milieu
ν invariante

$\frac{c}{n} = \lambda \nu \quad c = \lambda_0 \nu \quad \boxed{\lambda = \frac{\lambda_0}{n}}$

Milieu dispersif : indice de refraction depend de la frequence / longueur d'onde

$n(\lambda)$

Ex : loi de Cauchy $n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$

III Lois de Snell - Descartes :

1) Définitions

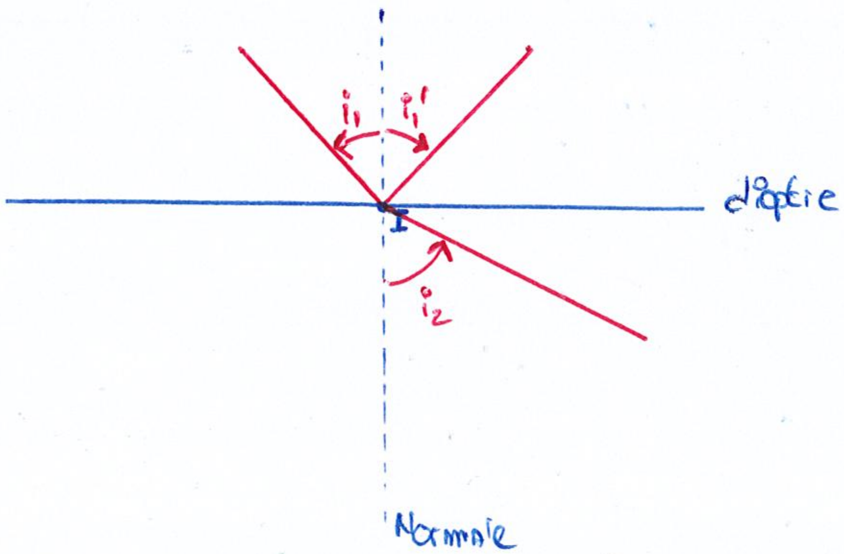
Dioptre : interface entre 2 milieux transparents d'indice différent

Point d'incidence : point I où le rayon incident rencontre le dioptre

Plan d'incidence : plan contenant la normale et le rayon incident

Normale : droite perpendiculaire au dioptre, passant par le point d'incidence

2) Enoncé des lois :



Angles orientés :

Angle par rapport à la normale

↺ + sens trigo

↻ - sens horaire

Loi de la réflexion

- Le rayon réfléchi appartient au plan d'incidence
- L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réflexion i_1' ont des valeurs égales mais opposées

$$\boxed{i_1 = -i_1'}$$

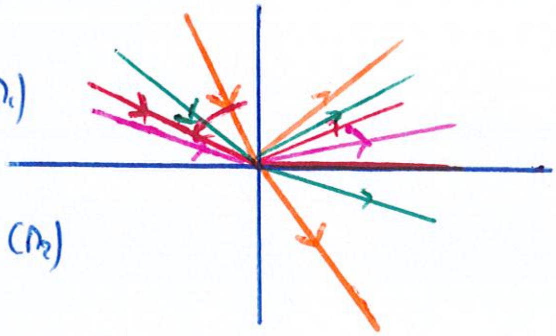
Loi de la réfraction

- Le rayon réfracté appartient au plan d'incidence
- L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 sont reliés par la relation

$$\boxed{n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)}$$

3) Réflexion totale :

Milieu 1 (n_1)



Milieu 2 (n_2)

$n_2 < n_1$

limite réflexion totale

i_{1lim}

Limite de reflexion totale

$i_1 = i_{1lim}$

$i_2 = \pi/2$

$$n_1 \sin(i_{1lim}) = n_2 \sin(\pi/2) = n_2$$

$$\boxed{i_{1lim} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)} \quad \text{Avec } \boxed{n_2 < n_1}$$

⚠ si $n_2 > n_1$, pas de réflexion totale possible

Applicat° refraction : les mirages

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

$$\sin(i_2) = \frac{n_1}{n_2} \sin(i_1)$$

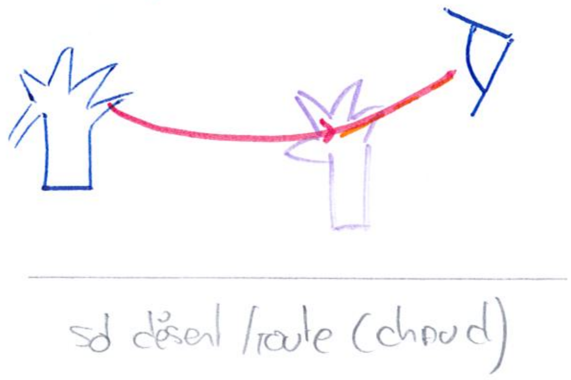
Reflexion totale ($\sin(i_2)$ n'existe pas) si $\frac{n_1}{n_2} \sin(i_1) > 1$

$$i_1 > \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

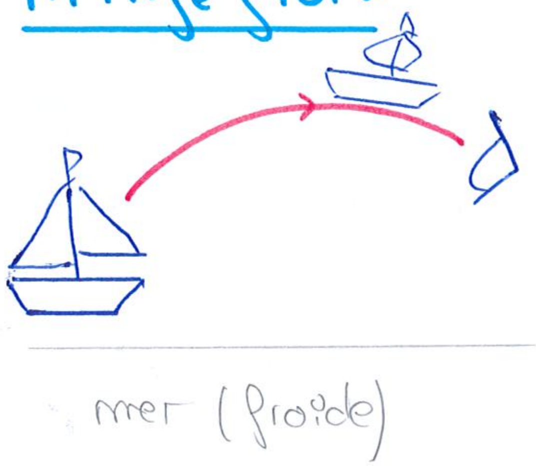
(il faut $n_1 > n_2$)

Application : Mirage optique

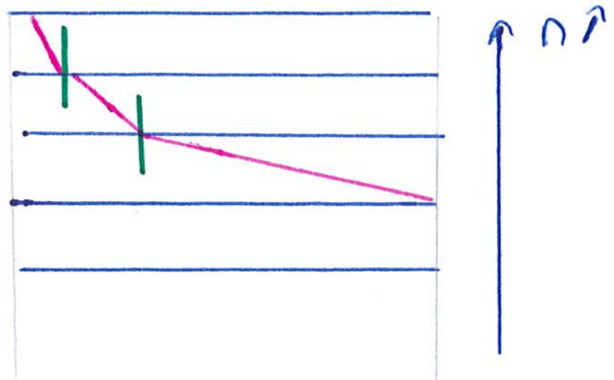
Mirage chaud



Mirage froid

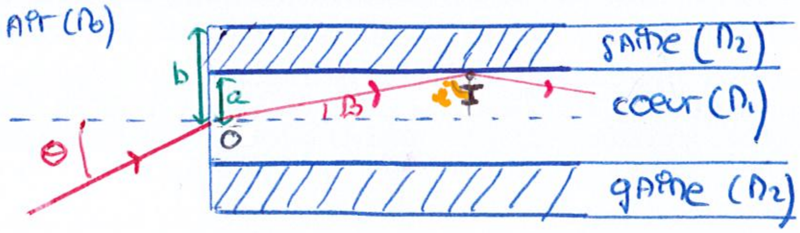


Le rayon lumineux tourne sa courbure vers les zones d'indice élevés (dans le sens de $\overrightarrow{grad}(n)$)



IV Application à la fibre optique :

1) La fibre optique à saut d'indice :



$\boxed{n_2 < n_1}$

$n_0 < n_1$

Définition : cône d'acceptance

Cône à l'intérieur duquel la fibre optique peut recevoir du signal.

- Condition de réflexion totale en I (interface coeur/gaine) : $\sin(i) > \sin(i_{lim}) = \frac{n_2}{n_1}$
- Snell Descartes en O :
  $n_0 \sin(\theta) = n_1 \sin(\beta) = n_1 \sin(\pi/2 - i) = n_1 \cos(i)$

$$\sin(i) > \sin(i_{lim}) \Rightarrow \cos(i) < \cos(i_{lim})$$

$\cos^2(x) + \sin^2(x) = 1$

$$\cos(i) < \sqrt{1 - \sin^2(i_{lim})}$$

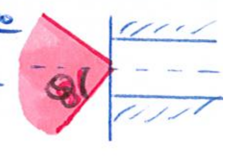
$$\cos(i) < \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$

on a donc $\quad n_0 \sin(\theta) = n_1 \cos(i) < n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$

soit $\quad \sin\theta < \frac{n_1}{n_0} \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$

$$\boxed{\theta < \theta_0 \qquad \theta_0 = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_0}\sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}\right)}$$

cône d'acceptance avec demi angle au sommet θ_0



Remarque : on définit l'ouverture numérique $ON = n_0 \sin\theta_0 =$ (ou NA)

Définition : Dispersion intermodale

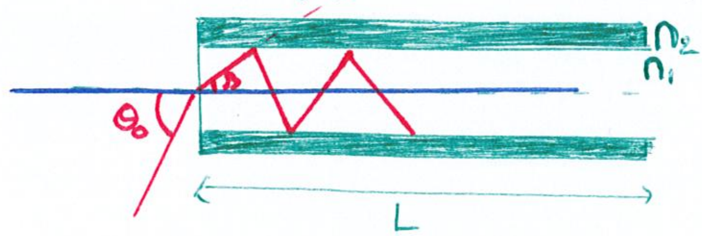
Les rayons avec des angles d'incidence ≠ suivent des chemins optiques (mode) ≠ : c'est la <u>dispersion intermodale</u>

<u>Remarque :</u> rien à voir avec $n(\lambda)$

<u>Remarque :</u> On définit le <u>retard intermodal</u> comme la différence de temps de parcours entre le rayon le plus rapide (moins incliné) et le rayon le plus rapide (plus incliné).
↑ rayon axial

rayon déplié

<u>Exemple :</u> • Exprimer le retard intermodal τ en fonction des caractéristiques de la fibre ($L, n_1, n_2, n_0, \dots$) L'_2



rayon le plus rapide
rayon le plus lent

$$\Delta t_1 = \frac{L}{c/n_1} = \frac{n_1 L}{c}$$

$$\Delta t_2 = \ ?$$

$$L_2' = \frac{L}{\cos(\beta)}$$

| discuter cas limite
$\beta = 0$
$\beta = \pi/2$

or $n_0 \sin\theta_0 = n_1 \sin(\beta) = n_1 \sqrt{1-\cos^2(\beta)}$

d'où $\cos(\beta) = \sqrt{1-\left(\frac{n_0}{n_1}\sin\theta_0\right)^2}$

$$\Delta t_2 = \frac{L n_1}{c\sqrt{1-\frac{n_0^2}{n_1^2}\sin^2\theta_0}}$$

AN : $n_1 = 1{,}500$
$n_2 = 1{,}489$
$L = 100\,m$
$\theta_0 = 8°$

$$\Rightarrow \tau = \frac{n_1 L}{c} - \frac{n_1 L}{c\sqrt{1-\frac{n_0^2}{n_1^2}\sin^2\theta_0}} \Rightarrow \boxed{\tau = \frac{n_1 L}{c}\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{n_0^2}{n_1^2}\sin^2\theta_0}} - 1\right)}$$

• 1 impulsion toutes les 0.22 ns

$$d = \frac{1 bit}{0.22 \cdot 10^{-9} s} = 4{,}5 \cdot 10^{9}\ b/s = 4{,}5\ Gb/s$$