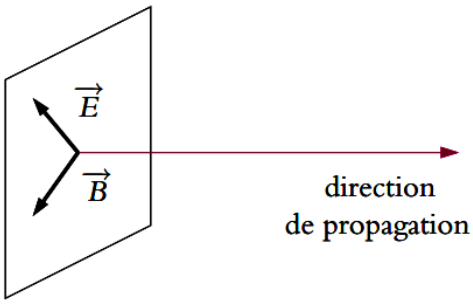
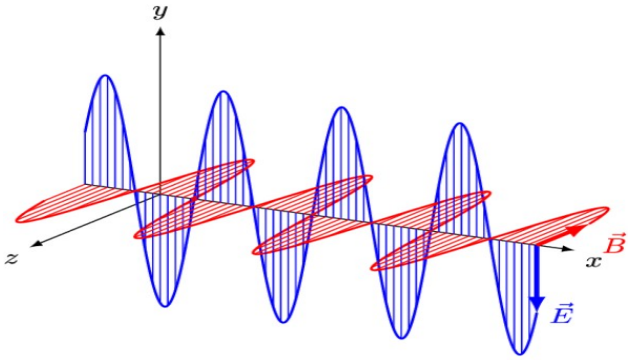
CHAP1 : MODELE DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUE

I vers une approche géométrique de la propagation des ondes lumineuses

I. 1 Caractéristiques d'une onde lumineuse

Sans entrer dans les détails que vous verrez en spé, la lumière est un onde électromagnétique.
Les champs électrique $\vec{E}$ et magnétique $\vec{B}$ qui composent la lumière peuvent être décomposés en des champs qui varient sinusoïdalement dans le temps et dans l'espace (ils oscillent et se propagent à la vitesse…. De la lumière).





a) Période, pulsation et fréquence

Ces composantes de la lumière varient sinusoïdalement dans le temps à différentes fréquences

Rmq 1: Pour caractériser l'onde on utilise aussi

Pour **une** onde **sinusoïdale (aussi appelée monochromatique)** , nous pouvons définir :

➜ la vitesse de propagation, appelée célérité notée v ($m.s^{-1}$)

b) célérité de la lumière

La célérité de la lumière dépend du milieu traversé

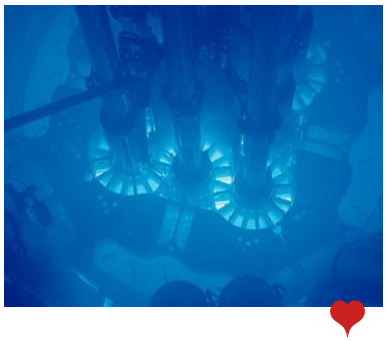
Dans un milieu autre que le vide, elle est inférieure à c :

➜ c =

➜ v est la célérité de la lumière **dans**

➜

Rayonnement Tcherenkov



L'indice optique caractérise la réfringence d'un milieu

Milieu de propagation	Indice optique (aussi appelé indice de réfraction)
Vide	n =
Air (C.N.T.P.)	n_{air} =
Eau	n =
Verre courant	n =
Diamant	$n_{diamant}$ =

Rmq 2 (voc) : Dans un milieu

Rmq 3 : D'un point de vue optique, l'air est équivalent au vide.

Question : peut-on aller plus vite que la lumière ?

Oui dans un milieu transparent (**mais pas plus vite que la lumière dans le vide**). Certains électrons émis lors des désintégrations nucléaires dans les centrales dépassent la vitesse de la lumière dans le milieu où ils se trouve (de l'eau). Un phénomène appelé effet Tcherenkov se produit alors et entraîne l'émission d'une lumière bleutée autour du réacteur

⚠ ⚠

c'est la fréquence qui est caractéristique de la couleur du rayonnement lumineux mais pas directement la longueur d'onde

⚠ La longueur d'onde dépend du milieu traversé ⚠

Ces ondes lumineuses se propagent dans le vide avec la célérité c, la donnée de ν , T ou ω impose la

.

Les longueurs d'onde dans le vide correspondant au domaine du visible varient de

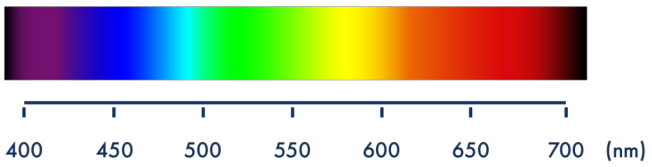
Les couleurs principales sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau à connaître (PHz=10^{15} Hz)

Couleurs	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
ν (PHz)	0,75-0,67	0,67-0,6	0,6-0,53	0,53-0,5	0,5-0,48	0,48-0,4
λ_0 (nm)	400-450	450-500	500-570	570-590	590-620	620-750

⚠Attention⚠

Le spectre de la lumière blanche que vous connaissait depuis la seconde **(ci contre) n'est donc valable que dans le vide et dans l'air.**



Mais il est faux dans d'autre milieux !

Lien entre longueur d'onde λ dans un milieu d'indice n et longueur d'onde dans le vide λ_0 :

Application : vous regardez en étant sous l'eau un projecteur orange monochromatique au fond d'une piscine. Quelle est la longueur d'onde de la lumière qui arrive jusqu'à votre œil ?

d) Notion de Spectre. ***Penser à l'arc-en-ciel***

Voc :

- L'éclairement E (**exprimé en $W \cdot m^{-2}$**) représente la puissance moyenne par unité de surface qui traverse une surface perpendiculaire aux rayons lumineux

- La contribution d'une longueur d'onde à l'énergie totale est appelée éclairement spectrale (notée E_λ exprimé en $W \cdot m^{-3}$)

I. 2 spectres des sources lumineuses

a) Les sources de lumière blanche

Spectres continus

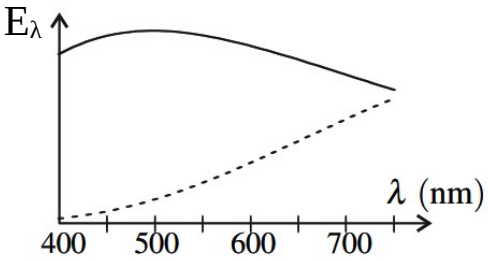


Figure 4.2 – Spectres de la lumière solaire (trait plein) et de la lumière d'une lampe à filament (pointillé).

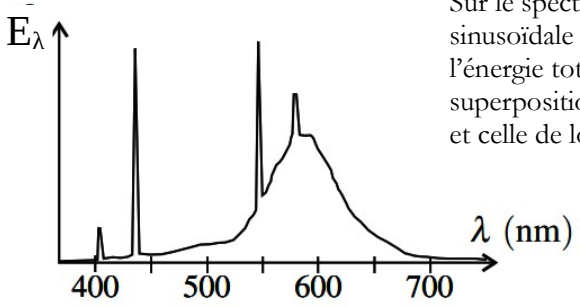


Figure 4.3 – Spectre d'une lampe « à économie d'énergie ».

Sur le spectre ci-contre L'onde sinusoïdale qui contribuent le plus à l'énergie totale transportée par la superposition des ondes sinusoïdales et celle de longueur d'onde

b) Les lampes spectrales

les lampes spectrales contiennent des vapeurs d'atomes excités par une décharge électrique, ces atomes sont ainsi portés dans un état excité et se désexcitent en émettant des photons, dont l'énergie est égale à la différence d'énergie entre deux niveaux d'énergie de l'atome

Spectre de raies

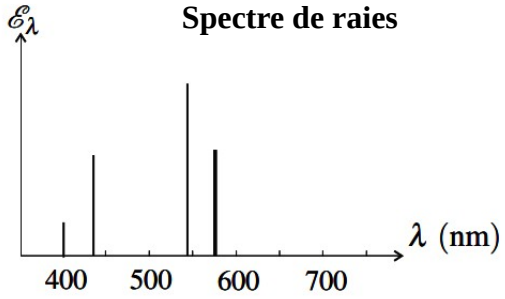


Figure 4.4 – Spectre d'une lampe au mercure (basse pression).

c) Faisceau laser

I.3 Modèle de la source ponctuelle et monochromatique

b) source ponctuelle

Une source ponctuelle S est une source de dimensions infiniment petites, assimilable à un point tel que :

- les rayons lumineux sont

- les points situés sur une même sphère de centre S

(tels que les points M et N sur la figure) reçoivent des signaux

(c'est à dire que **l'amplitude** du champ $\vec{E}$ y prend la même valeur.

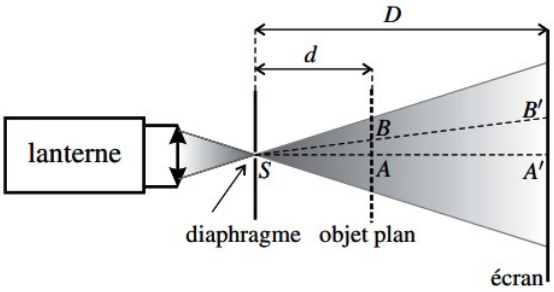
c'est à dire que l'intensité lumineuse est la même en ces points

b) Source ponctuelle monochromatique

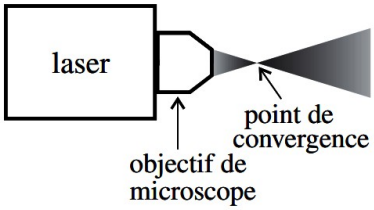
c) Notion de rayon lumineux

Comment obtenir une source ponctuelle monochromatique dans la vraie vie ?

On fait converger la lumière issus d'une lampe spectrale sur un diaphragme. On peut assimiler le centre S du très petit diaphragme à une source ponctuelle.
Pour obtenir une lumière monochromatique, on rajoute un filtre devant le diaphragme



La lumière d'un laser est presque idéalement monochromatique. En faisant converger le faisceau à l'aide d'un objectif de microscope, objectif de très courte distance focale (voir chapitre 2) on obtient une source ponctuelle et monochromatique située au point de convergence du faisceau.



I.4 Approximation de l'optique géométrique

Bien que l'on puisse définir un rayon lumineux comme le trajet suivi par la lumière, il est, en fait, impossible d'isoler un rayon lumineux. Plus l'espace dans lequel la lumière doit se propager est restreint, plus son caractère ondulatoire se fait ressentir. Ainsi, en limitant très fortement un faisceau lumineux, au lieu de restreindre ce dernier, il s'élargit : c'est le phénomène de diffraction

a) Modèle de l'optique géométrique

✧ les phénomènes de diffraction seront étudiés en deuxième année et, pour notre part, étant donné les dimensions des miroirs et des lentilles que nous utiliserons, nous ne serons jamais limités par ce phénomène.

II Lois fondamentales de l'optique géométrique

II.1 Propagation rectiligne

Depuis la plus haute Antiquité, il est observé que la lumière issue d'une source ponctuelle se propageant dans un milieu homogène et isotrope emprunte un trajet rectiligne passant par la source.

Rmq 4 :

Voc important : Un milieu homogène est un milieu qui est

Observation expérimentale : Dans un milieu homogène et isotrope, les rayons lumineux sont des droites.

Ainsi la prévision du comportement de la lumière pourra se faire directement à l'aide des lois de la **géométrie**, et c'est pour cela que l'on parle d'optique géométrique.

Dans une suite de milieux homogènes,

Dans un milieu inhomogène les rayons sont courbés, si un rayon courbe arrive jusqu'à l'œil, le cerveau interprète le trajet de la lumière comme un trajet en ligne droite on observe un mirage

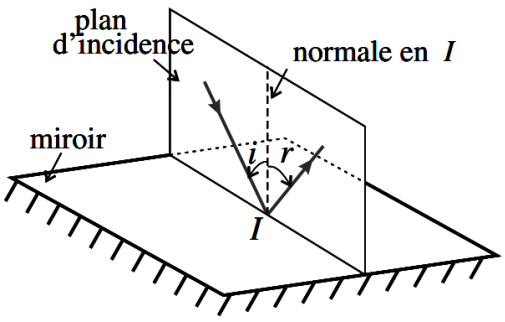
Voc : **un dioptre est la surface d'interface entre deux milieux homogènes.**

II.2 Lois de Snell-Descartes

Partout dans le monde, ces lois s'appellent les lois de Snell. En France, elles s'appellent les lois de Descartes. Nous les appellerons les lois de Snell – Descartes.

Ces lois permettent d'exprimer le changement de direction d'un rayon lumineux au passage d'un dioptre

a) Loi sur la réflexion



~~À retenir (schéma aussi) :~~

Dans le plan d'incidence :

Attention les angles sont orientés

i_1 >0 car orienté dans le sens trigonométrique
r <0 car orienté dans le sens anti-trigonométrique

b) Loi sur la réfraction

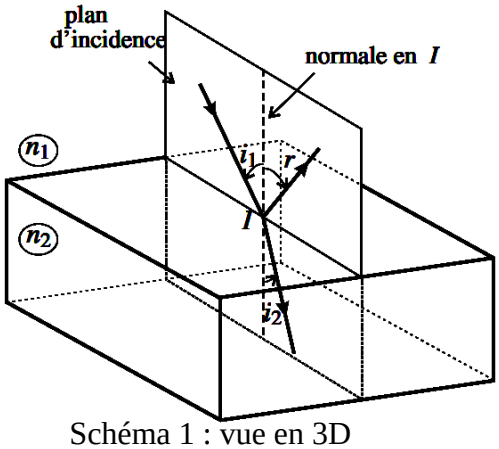


Schéma 1 : vue en 3D

À retenir (savoir refaire le schéma 2 aussi) :

Schéma 2 : vue dans Le plan d'incidence

Rmq 5 : Une partie de la lumière est réfléchie selon la loi de la réflexion

Rmq 6 *:* Ici les angles sont orientés de la normale vers les rayons lumineux. **C'est un choix arbitraire**. Lorsque les angles ne sont pas orientés sur un schéma il est commode de les orienter dans le sens trigonométrique (et pas forcement de la normale vers le rayon) pour qu'ils soient positifs. La loi de la réflexion devient i = r

⚠ Erreur classique : mesurer les angles entre le rayon et le dioptre (et pas par rapport à la normale) ⚠

c) sens de la déviation au passage d'un dioptre

II.3 Phénomène de réflexion totale

a) Condition de réflexion totale

(!) Raisonnement +schéma à savoir refaire (!)

Pour $n_1 > n_2$, comme le rayon réfracté est plus éloigné de la normal que le rayon incident, on imagine que pour un angle incident suffisamment grand l'angle réfracté est égale à $\pi/2$ (il est parallèle à l'interface)

Avec $n_2 < n_1$

C'est un schéma du cas limite , ce n'est pas la seule situation ou il y a reflexion totale. !Il y a toujours reflexion totale si l'angle d'incidence est supérieur à i_{1lim} !

Cherchons la valeur de l'angle d'incidence limite i_{lim} pour laquelle le rayon réfracté est parallèle au dioptre :

D'après la loi de Snell-Descartes sur la réfraction $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$

b) Cas où la réflexion totale ne peut pas avoir lieu : angle limite de réfraction

Si $n_1 < n_2$ Le phénomène de réfraction **a toujours lieu**, peu importe l'angle d'incidence jusqu'à

le rayon réfracté émerge alors avec un angle $i_{2\,max}$:

C'est un schéma du cas limite , (incidence rasante) Il ne faut pas confondre avec le cas précédent !

Cherchons la valeur de l'angle réfracté limite i_{2lim} pour laquelle le rayon incident est parallèle au dioptre : Snell-Descartes

c) Application de la réflexion totale : fibre à saut d'indice (voir TD)

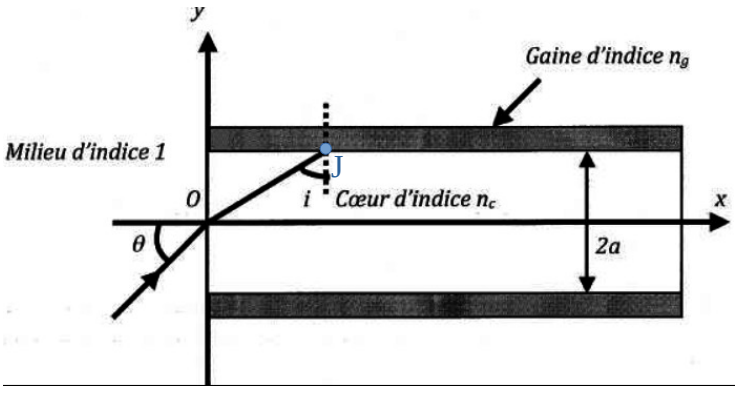
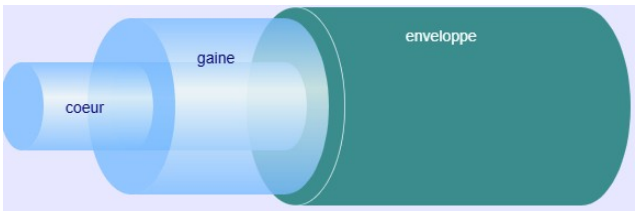


schéma de la fibre optique à saut d'indice



https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/dioptres/fibre_optique.php?typanim=Javascript

Définition : cône d'acceptance

(!) savoir refaire (!)

Définition : Dispersion intermodale (notée Δt)

C'est la différence de durée de trajet entre :
-un rayon à la limite du cône d'acceptance : qui met une duréee Δt_{max} pour parcourir une distance L
-un rayon qui se propage en ligne droite sans réflexions : qui met une durée Δt_0 pour parcourir L

Déterminons la valeur de de la dispersion intermodale

Attention les rayons se propagent dans le cœur d'indice donc à la célérité

le rayon le plus rapide met une durée

en « dépliant par la pensée le rayon à la limite du cône d'acceptance » (voir schéma ci-dessous)

On voit qu'il parcourt une distance d_{tot} telle que $d_{tot}=\frac{L}{\cos(r_{lim})}$ pour une distance L de fibre

ce qui nécessite un temps $\Delta t_{max}=\frac{D}{v}=D\frac{n_c}{c}=\frac{L\,n_c}{c\cos(r_{lim})}$