Chapitre O1 – Fondements de l'optique géométrique

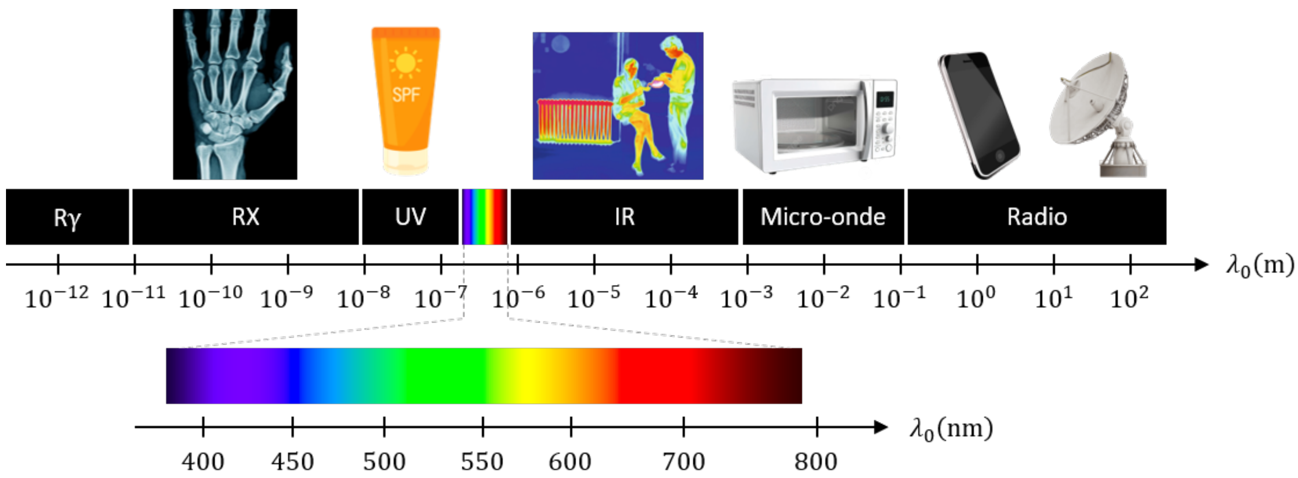
Bref historique des avancées scientifiques concernant les propriété de la lumière.

- Descartes (1637) et Snell (1621) démontrent indépendamment l'importance du milieu de propagation.
- Rømer (1676) estime expérimentalement $c = 2{,}2 \times 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.
- Newton (1675), à l'aide d'un prisme, parvient à décomposer la lumière et obtient le spectre de la lumière blanche.
- Au XVIIIe siècle : débat sur la nature de la lumière. Newton → corpuscule ; Huygens → onde. La théorie de Newton est adoptée.
- Young et Fresnel (1800) produisent des interférences lumineuses, démontrant que la lumière est une onde.
- Maxwell (1865) montre théoriquement que la lumière est une onde électromagnétique se déplaçant à $c = 3{,}0 \times 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ quel que soit le référentiel d'étude. Cette propriété rejetée par la communauté, y compris Maxwell.
- Einstein (1905) suppose que c est constant et fonde la relativité restreinte.
- Einstein (1905) suppose que la lumière est faite de corpuscules pour expliquer l'effet photoélectrique, conduisant à l'émergence de la mécanique quantique.

I) Sources lumineuses

1) Spectre électromagnétique

La lumière visible correspond à une petite partie du spectre électromagnétique.



Propriété :

Connaître le lien entre la longueur d'onde dans le vide λ_0 et la couleur du rayonnement :

$$\lambda_0(\text{bleu}) \simeq 450\ \text{nm} \qquad \lambda_0(\text{vert}) \simeq 500\ \text{nm} \qquad \lambda_0(\text{orange}) \simeq 600\ \text{nm} \qquad \lambda_0(\text{rouge}) \simeq 700\ \text{nm}$$

2) Spectre d'une source lumineuse

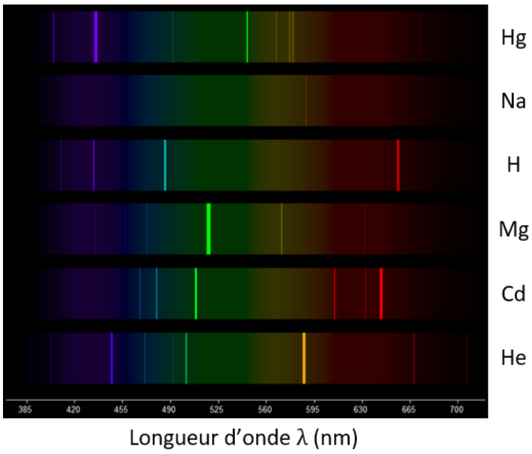
Définition :

Le **spectre** d'une source lumineuse est la décomposition de son rayonnement en l'ensemble des longueurs d'onde qui le compose.

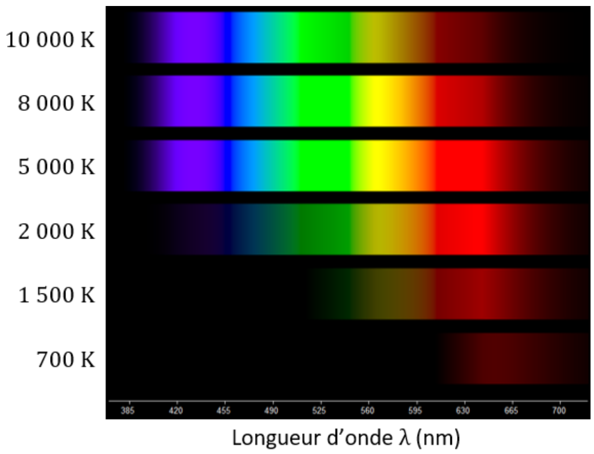
On rencontrera 3 types de spectre.

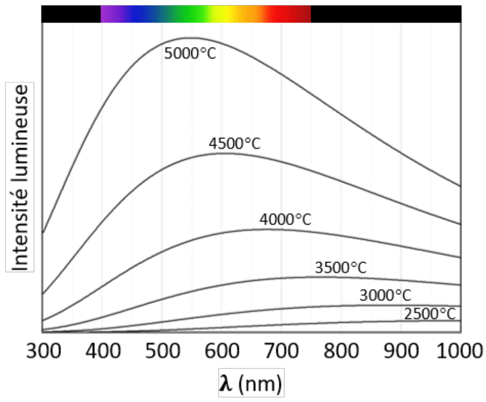
Lorsqu'un atome absorbe de l'énergie, il la restitue sous forme de lumière. Le spectre de cette lumière est **discret** : il possède des **raies** brillantes quasi-monochromatiques. Chaque élément possède un spectre qui lui est propre. Il est donc possible, en analysant le spectre d'une lumière inconnue, de déterminer les éléments qui ont émis cette lumière.

Le spectre d'un laser possède une seule **raie** quasi-monochromatique.



Tout corps chauffé à une température T émet un rayonnement dont le spectre est continu. L'intensité en fonction de la longueur d'onde $I(\lambda)$ est une courbe en cloche où les coordonnées (λ_m, I_m) du maximum dépendent de la température. Plus T augmente, plus λ_m diminue et I_m augmente.





3) Modèle de la source idéale

Dans les exercices, on considérera que la source est idéale, c'est-à-dire **ponctuelle** (pas d'extension spatiale) et **monochromatique**.

Dans la pratique, un laser ou l'ensemble { lampe + filtre de couleur + diaphragme } est une très bonne approximation de sous idéale.

II) Approximation de l'optique géométrique

1) Indice optique d'un milieu

Dans le vide, la lumière se propage à la vitesse :

$$\boxed{c = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Définition :

Un milieu homogène et isotrope est caractérisé par son **indice optique** ou **indice de réfraction**, noté n. Il s'agit d'un nombre sans dimension, supérieur à 1.

Vocabulaire :

- **homogène** : les propriétés physiques (température, densité ...) sont les mêmes en tout point du milieu ;
- **isotrope** : les propriétés physiques (indice optique ...) sont les mêmes dans toutes les directions du milieu.

Dans un milieu d'indice n, la lumière se propage à la célérité :

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

Ordre de grandeur :

$$n(\text{vide}) = 1 \qquad n(\text{air}) \simeq 1{,}0 \qquad n(\text{eau}) \simeq 1{,}3 \qquad n(\text{verre}) \simeq 1{,}5$$

Propriété :

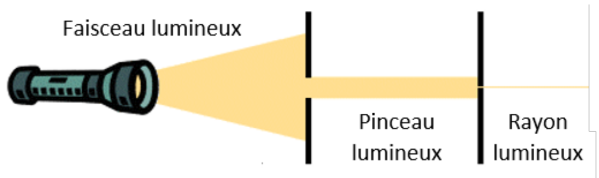
Cette modification n'est pas perceptible à l'œil, puisque ce dernier est sensible à la valeur de λ_0 et non pas à celle de λ.

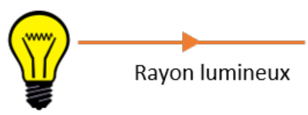
Plus l'indice optique est grand, plus le milieu est dit **réfringent**.

Lorsque l'indice optique dépend de la longueur d'onde dans le vide $n(\lambda_0)$, le milieu est dit **dispersif**.

2) Modèle de l'optique géométrique

En optique géométrique, la propagation de l'énergie lumineuse est modélisée par un rayon lumineux. Il s'agit d'un faisceau de lumière parallèle infiniment fin. Il se représente par un trait orienté dans le sens de propagation de la lumière.

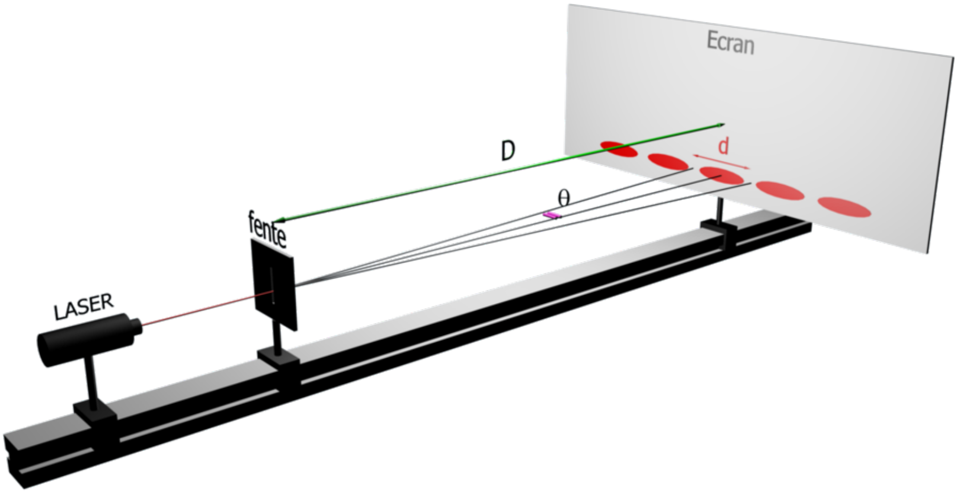




Propriétés :

- **Principe de Fermat** – Le chemin suivi par un rayon lumineux est celui qui minimise le temps de trajet. Conséquence : dans un milieu homogène et isotrope, les rayons lumineux se propagent en ligne droite.
- **Indépendance des rayons lumineux** – Deux rayons lumineux n'interagissent pas entre eux et se propagent de manière indépendante.
- **Principe du retour inverse de la lumière** – Le chemin suivi par un rayon lumineux est indépendant du sens de parcours : si un certain chemin reliant un point A à un point B peut être parcouru par un rayon lumineux, alors un rayon lumineux pourra suivre le même chemin pour aller de B à A.

Ce modèle est valable tant que la lumière n'interagit pas avec des objets de taille typique $\boxed{a < 1000 \times \lambda_0}$. Dans le cas contraire, il se produit un phénomène de **diffraction**.



III) Lois de Snell-Descartes

1) Énoncé des lois

Lorsqu'un rayon incident arrive à l'interface entre deux milieux homogènes et isotropes, une partie de l'énergie lumineuse est réfléchie et l'autre partie est transmise.

On appelle plan d'incidence le plan contenant le rayon incident et la normale (il s'agit du plan de la feuille).

Les lois de Snell-Descartes sont les conséquences directes (admises) du principe de Fermat.

Lois de Snell-Descartes

Le rayon réfléchi et le rayon réfracté appartiennent au plan d'incidence. Les angles d'incidence et de réfaction sont donnés par :

$$\boxed{i_1 = i'_1} \quad \text{et} \quad \boxed{n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)}$$

Conséquences :

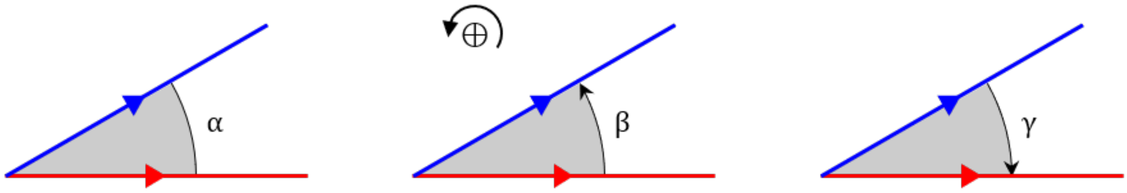
- Un rayon en incidence normale, ie. $i_1 = 0$ n'est pas dévié. En l'effet, l'angle de réfraction :

$$n_1 \underbrace{\sin(i_1)}_{=0} = n_2 \sin(i_2) \quad \Rightarrow \quad \sin(i_2) = 0 \quad \Rightarrow \quad \boxed{i_2 = 0}$$

- Lorsque $n_1 < n_2$ (exemple : air → verre), le rayon réfracté est dévié vers la normale.
- Lorsque $n_1 > n_2$ (exemple : verre → air), le rayon réfracté est dévié vers l'interface.

2) Angles algébrique

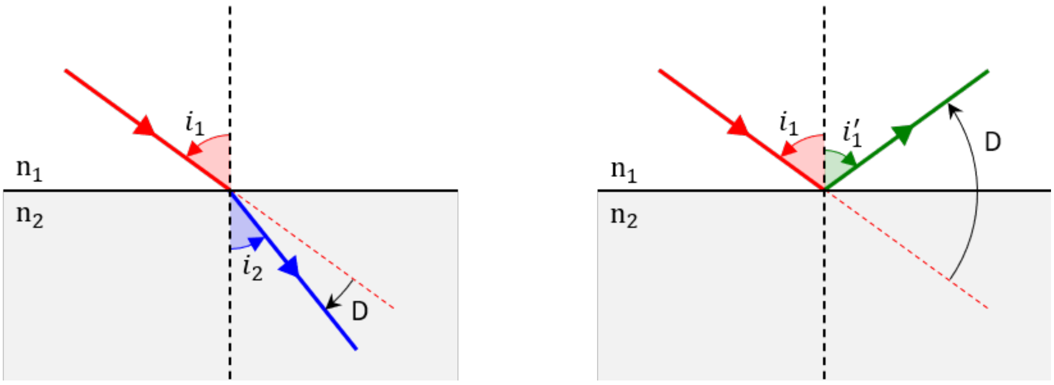
Une grandeur algébrique est une grandeur dont le signe dépend d'une convention d'orientation choisie.



Angle non algébrique $\alpha > 0$ | Angle algébrique $\beta = \alpha > 0$ | Angle algébrique $\gamma = -\alpha < 0$

Application :

Pour la réfraction et la réflexion sur un dioptre, déterminer l'angle de déviation D, ie. l'angle entre le prolongement du rayon incident et le rayon émergent (réfracté et réfléchi).



3) Réflexion totale

On se place dans le cas où $n_1 > n_2$. Le rayon réfracté est donc dévié vers l'interface.

Bilan : pour observer un phénomène de réflexion totale, il faut que :

$$\boxed{n_1 > n_2 \quad \text{et} \quad i_1 > i_{1,\text{lim}} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)}$$

Le phénomène de réflexion totale est utilisé dans les fibres optiques pour guider le rayon lumineux.