

Bases de l'optique géométrique

Cours

Plan du cours

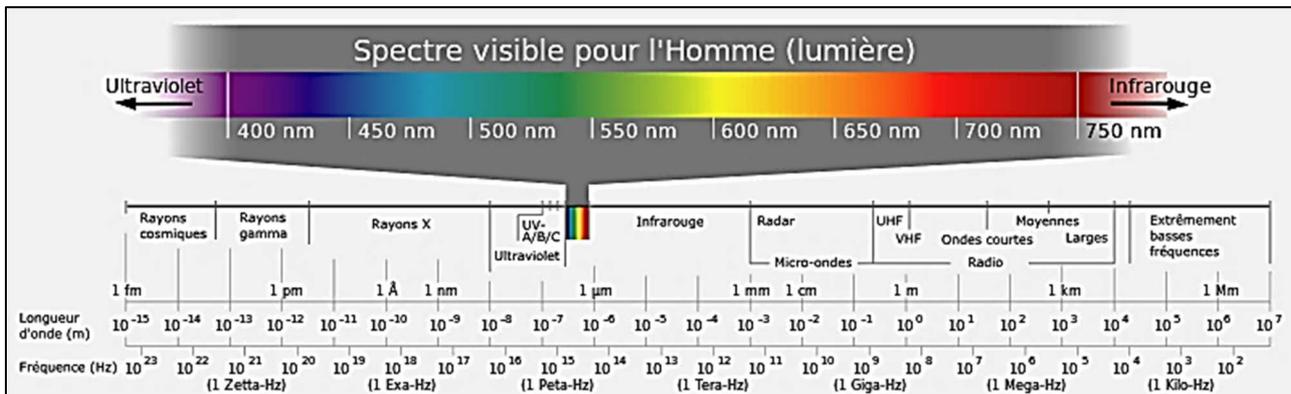
1. Description et propriétés de la lumière.....	1
1.1. Spectre de la lumière.....	1
1.2. Lien entre longueur d'onde et fréquence.....	1
1.3. Propagation de la lumière	1
2. Sources lumineuses	2
3. Optique géométrique	3
3.1. Le modèle de l'optique géométrique	3
3.2. Lois de Snell-Descartes	3
3.3. Réfraction limite et réflexion totale.....	4
4. Un exemple de dispositif optique : la fibre optique	5

1. Description et propriétés de la lumière

1.1. Spectre de la lumière

La lumière fait partie des ondes électromagnétiques. Le terme lumière désigne à la base la partie du spectre électromagnétique détectable par l'œil humain mais on étend souvent cette définition pour englober les domaines des ultraviolets et des infrarouges car les lois de l'optique y restent valables.

Pour la lumière visible on associe chaque fréquence à une couleur. Cette association n'est pas physique mais physiologique (c'est le cerveau qui attribue une couleur à l'onde perçue) : il n'est pas possible de définir précisément une palette de couleurs universelle en fonction de la fréquence, cela peut varier d'un individu à l'autre.



Remarque : les longueurs d'ondes indiquées sur cette figure correspondent aux longueurs d'onde dans le vide. L'œil est en réalité sensible aux fréquences et non aux longueurs d'onde.

1.2. Lien entre longueur d'onde et fréquence

Propriété : Double périodicité

La **longueur d'onde** λ (exprimée en mètre) et la **fréquence** (exprimée en hertz) d'une onde lumineuse sont reliées par la relation suivante :

$$\lambda \cdot f = v_{\text{onde}}$$

où v_{onde} est la célérité de l'onde (sa vitesse de propagation) exprimée en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1.3. Propagation de la lumière

1.3.1. Dans le vide

Définition : Célérité de la lumière dans le vide

Dans le **vide**, la lumière se propage avec une **célérité constante** indépendante de la fréquence et du référentiel d'étude. La célérité de la lumière dans le vide vaut :

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

1.3.2. Dans un milieu matériel

La manière dont se propage la lumière dépend du milieu de propagation. Nous nous limiterons à l'étude des milieux **linéaires**, **transparents**, **homogènes** et **isotropes** (MLTHI).

Définition : Caractéristiques du milieu de propagation

Linéaire : Une onde sinusoïdale incidente de fréquence ν (de pulsation $\omega = 2\pi \cdot \nu$) reste sinusoïdale de même fréquence (pulsation) lors de la traversée d'un milieu linéaire.

Transparent : Le terme transparent fait référence ici à un milieu non absorbant. L'amplitude de l'onde ne diminue donc pas lors de sa propagation dans le milieu.

Homogène : Les propriétés du milieu sont les mêmes en tout point de l'espace.

Isotrope : Les propriétés du milieu sont les mêmes dans toutes les directions.

Définition : Indice optique

Dans un MLTHI, la lumière se propage avec une célérité v_{milieu} inférieure à c . Afin de quantifier cette diminution, on introduit l'**indice optique** (ou indice de réfraction) n du milieu :

$$n = \frac{c}{v_{\text{milieu}}}$$

Quelques valeurs indicatives à avoir en tête :

Milieu	vide	air	eau	plexiglas	diamant
Indice optique n	1	1,0003 \approx 1	1,3	1,5	2,4

Remarques :

- Par définition l'indice optique est toujours supérieur ou égal à 1.
- L'indice optique peut varier en fonction de la fréquence de la lumière si le milieu est dispersif.

2. Sources lumineuses

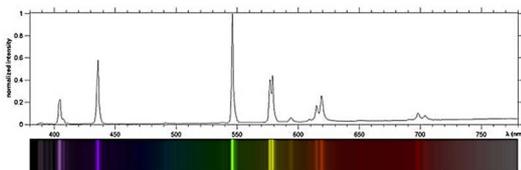
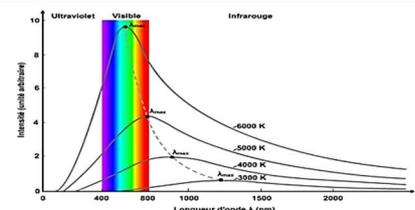
Les sources lumineuses diffèrent par leurs propriétés.

Définition : Classification des sources lumineuses

- Les sources **primaires** émettant leurs propres lumières des sources **secondaires** renvoyant la lumière qu'il reçoit ;
Lampes, Soleil, flamme... vs. Lune, murs, écran du vidéoproj, vous...
- Les sources **ponctuelles**, dont le diamètre apparent très faible permet de les assimiler à des points, des sources **étendues**, décomposables en une infinité de sources ponctuelles ;
Étoiles, lampadaires lointain... vs. écran, lampe proche...
- Les sources **monochromatiques**, dont le spectre ne contient qu'une seule radiation, des sources **polychromatiques**.
Laser, lampe spectrale filtrée... vs. flamme, ampoule à incandescences, lampe spectrale...

Spectres des sources à connaître :

- Le spectre d'une lampe à incandescence est **large** et **continu**. Plus sa température est élevée, plus son spectre se décale vers les courtes longueurs d'onde.



- Une lampe spectrale possède un spectre lumineux **discret**. Il est constitué d'un petit nombre de **raies spectrales**. Le spectre est **caractéristique de l'élément chimique** contenu dans la lampe.

- Le laser est une source lumineuse **quasi-monochromatique**, **cohérente** et **unidirectionnelle**.

3. Optique géométrique

3.1. Le modèle de l'optique géométrique

Définition : Domaine de validité du modèle de l'optique géométrique

Dans la limite où les dimensions caractéristiques d des ouvertures sont grandes devant la longueur d'onde λ ($d \gg \lambda$), le **phénomène de diffraction peut être négligé**. On raisonne alors **géométriquement** en considérant que la lumière se propage le long de **rayons lumineux**.

Définition : Hypothèses associées à l'utilisation des rayons lumineux

Dans le cadre de l'optique géométrique, la propagation de l'énergie lumineuse est décrite à l'aide de la notion de rayon lumineux vérifiant les propriétés suivantes :

- **Propagation rectiligne** : dans un milieu linéaire, transparent, homogène et isotrope, les rayons lumineux se propagent en ligne droite.
- **Principe de retour inverse de la lumière** : le trajet suivi entre deux points lumineux situés sur le même rayon lumineux est indépendant du sens de propagation.
- **Indépendance des rayons lumineux** : il n'y a pas de phénomènes d'interférences, les rayons lumineux qui se croisent n'interagissent pas entre eux, ils se propagent de façon entièrement indépendante.

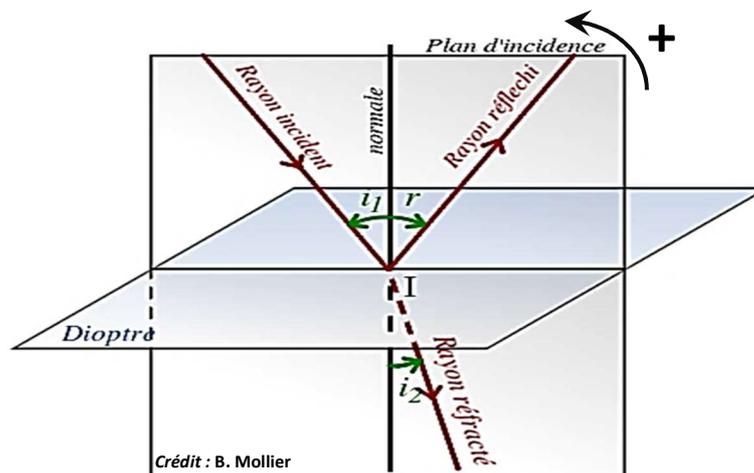
3.2. Lois de Snell-Descartes

3.2.1. Réfraction et réflexion

Définition : Réflexion et réfraction sur un dioptré plan

- Lorsqu'il y a un changement brusque de milieu, la lumière incidente se sépare en deux :
 - un **rayon réfléchi** qui se propage dans le même milieu que le rayon incident ;
 - un **rayon réfracté** qui se propage dans l'autre milieu.
- La surface de séparation entre les deux milieux transparents est appelée **dioptré**.
- Le **point d'incidence** est le point de contact I du rayon lumineux incident avec le dioptré (ou avec un miroir).
- La **normale au dioptré** est l'axe perpendiculaire au dioptré (ou à un miroir), passant par le point d'incidence.
- Le plan contenant le rayon incident et la normale au dioptré est appelé **plan d'incidence**. Notez que ce plan est perpendiculaire au dioptré ou au miroir.
- Les angles i_1 , i_2 et r sont respectivement l'**angle d'incidence**, l'**angle de réfraction** et l'**angle de réflexion**.

Méthode : Ces angles sont algébrisés et orientés par rapport à la normale !!!



3.2.2. Enoncé des lois de Snell-Descartes

Loi : Lois de Snell-Descartes

1. Les rayons réfléchis et réfractés sont situés dans le plan d'incidence.

2. Loi de la réflexion :

L'angle d'incidence i_1 est l'opposé de l'angle de réflexion r : $i_1 = -r$.

3. Loi de la réfraction :

L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 satisfont la relation suivante :

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

avec n_1 l'indice optique du milieu de propagation du rayon incident et n_2 l'indice optique du milieu de propagation du rayon réfracté.

Remarque : Loi de la réflexion sur un miroir plan

Si on remplace le dioptre plan par un miroir plan, les deux premières lois restent valides. La troisième, évidemment, disparaît car le rayon réfracté n'existe alors plus.

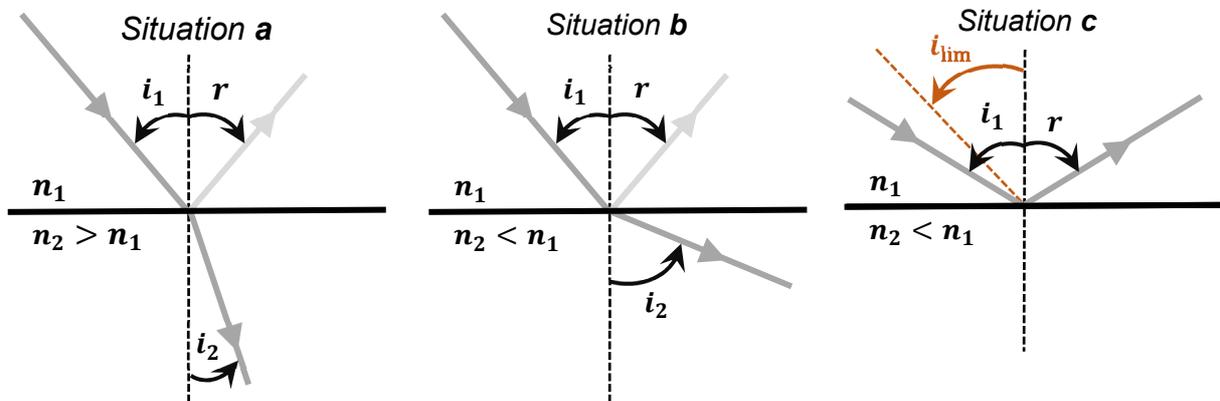
3.3. Réfraction limite et réflexion totale

Définition : Réflexion totale

- Si $n_2 > n_1$, le rayon réfracté se rapproche de la normale au dioptre. Le rayon réfracté existe toujours (situation **a** ci-dessous).
- Si $n_2 < n_1$, le rayon réfracté s'éloigne de la normale au dioptre (situation **b**). Le rayon réfracté n'existe que lorsque l'angle d'incidence i_1 est inférieur à une valeur limite notée i_{lim} . Celle-ci correspond au cas où $i_2 = \frac{\pi}{2}$, soit

$$i_{\text{lim}} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

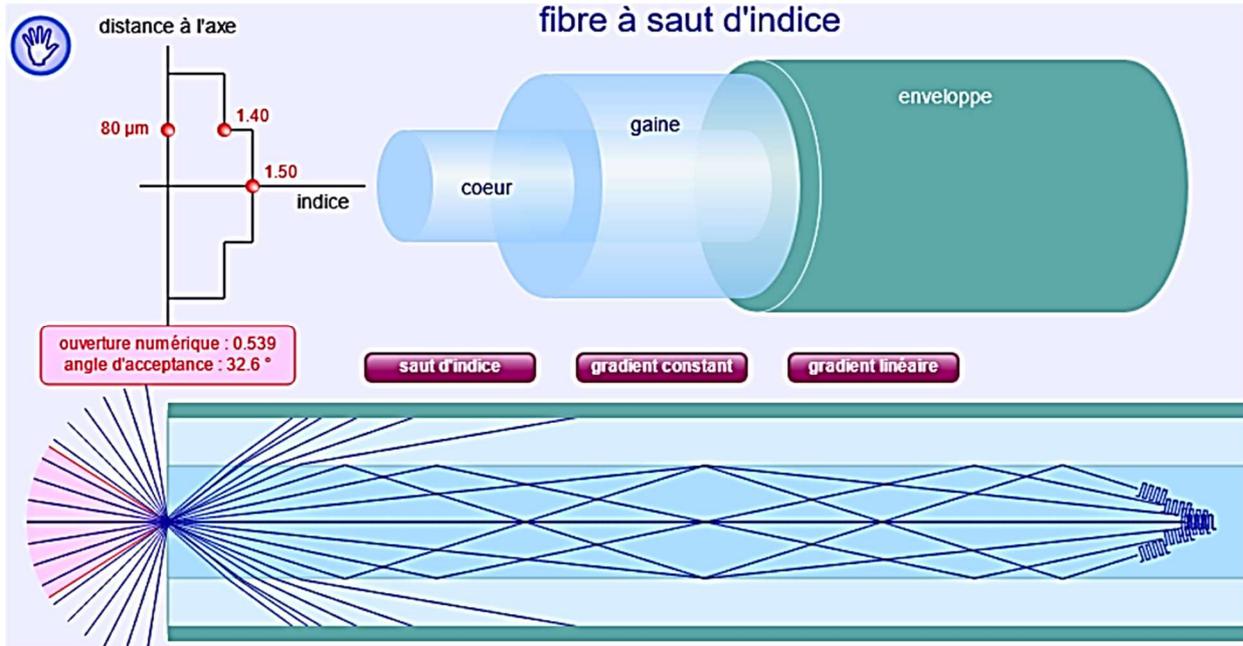
Lorsque $i_1 > i_{\text{lim}}$, il n'y a pas de réfraction, il y a donc **réflexion totale** (situation **c**).



4. Un exemple de dispositif optique : la fibre optique

Définition : Fibre optique

Une **fibre optique** est formée de deux milieux transparents : le "**cœur**", cylindrique, d'indice constant ou variable, entouré par la "**gaine**", d'indice plus petit. Elle a la propriété de conduire la lumière et sert pour la fibroscopie, l'éclairage ou la transmission de données numériques.



https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/dioptres/fibre_optique.php

Définition : Cône d'acceptance

Le "**cône d'acceptance**" représente l'angle dans lequel un rayon incident est transmis dans la fibre. Il est défini par son sinus, appelé "**ouverture numérique**". Cette quantité ne dépend que des indices de la gaine et du cœur.

Définition : Dispersion intermodale

Les chemins suivis par les différents rayons lumineux n'ont pas la même longueur, et leurs **temps de propagation sont donc différents**, cette différence est appelée la **dispersion intermodale**. Elle dépend de la longueur de la fibre.

Cela pose un problème pour le débit des informations transmises, car une information ne doit pas se mélanger avec la précédente ou la suivante !

AU PROGRAMME

Notions et contenus	Capacités exigibles	Dans les exercices
Sources lumineuses		
Modèle de la source ponctuelle monochromatique. Spectre.	<ul style="list-style-type: none"> Caractériser une source lumineuse par son spectre. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur. 	
Modèle de l'optique géométrique		
Modèle de l'optique géométrique. Notion de rayon lumineux. Indice d'un milieu transparent. Réflexion, réfraction. Lois de Snell-Descartes.	<ul style="list-style-type: none"> Définir le modèle de l'optique géométrique. Indiquer les limites du modèle de l'optique géométrique. Établir la condition de réflexion totale. 	
Modèles de quelques dispositifs optiques		
La fibre optique à saut d'indice.	<ul style="list-style-type: none"> Établir les expressions du cône d'acceptance et de la dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice. 	