

Modéliser la lumière

Ce qu'il faut connaître

- Définir le modèle de l'optique géométrique. Indiquer les limites du modèle de l'optique géométrique.
- Entre quelles longueurs d'onde (dans le vide) le spectre du visible est-il compris ? À quelles couleurs chaque extrême correspond-il ?
- Caractériser une source lumineuse par son spectre. Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
- Qu'est-ce qu'un dioptré ? Écrire la relation de Snell-Descartes. On fera un schéma dans le cas $n_1 > n_2$ en faisant figurer les angles et en indiquant la normale, les rayons incident, réfléchi et réfracté.
- Énoncer les conditions de l'approximation de Gauss et ses conséquences.
- Relier le stigmatisme approché aux caractéristiques d'un détecteur.

Ce qu'il faut savoir faire

- Construire l'image d'un objet par un miroir plan.
- Utiliser les lois de Descartes.
- Établir l'expression de l'angle de réfraction limite.
- Établir la condition de réflexion totale.
- Établir les expressions du cône d'acceptance et de la dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice.

Exercices de cours

EC1 - Appliquer les lois de Snell-Descartes

Un rayon lumineux se propage dans l'air et arrive sur un bloc de verre d'indice $n = 1,5$. Calculer l'angle d'incidence pour que le rayon réfléchi soit perpendiculaire au rayon réfracté. On commencera par faire un schéma.

(Cet angle est appelé angle de Brewster et a de nombreux intérêts lorsque l'on considère la polarisation de la lumière.)

EC2 - Valeur maximale de l'angle de réfraction

On considère un dioptré plan séparant des milieux d'indice optique n_1 et n_2 . Un rayon lumineux arrive depuis le milieu 1. Supposons $n_1 < n_2$.

- 1 - Donner un exemple de deux milieux qui vérifient cette condition.
- 2 - Représenter la situation sur un schéma. À partir de ce schéma, expliquer qualitativement (= sans calculs) pourquoi le rayon réfracté existe toujours et pourquoi l'angle de réfraction i_2 admet une valeur maximale $i_{2,\max}$
- 3 - Exprimer $i_{2,\max}$ en fonction des indices n_1 et n_2 . Faire l'application numérique pour $n_1 = 1$ et $n_2 = 1,3$.

EC3 - Condition de réflexion totale

On considère un dioptré plan séparant des milieux d'indice optique n_1 et n_2 . Un rayon lumineux arrive depuis le milieu 1. Supposons $n_1 > n_2$.

- 1 - Donner un exemple de deux milieux qui vérifient cette condition.
- 2 - Représenter la situation sur un schéma. À partir de ce schéma, expliquer qualitativement (= sans calculs) pourquoi il existe une valeur limite $i_{1,\lim}$ de l'angle d'incidence au delà de laquelle le rayon réfracté ne peut plus exister.
- 3 - Exprimer $i_{1,\lim}$ en fonction des indices n_1 et n_2 . Faire l'application numérique pour $n_1 = 1,3$ et $n_2 = 1$.

I. Théorie de l'optique ondulatoire : la lumière comme une onde

Célérité et indice optique n

La célérité des ondes lumineuses se propageant $\begin{cases} \text{dans le vide est } c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \\ \text{dans un milieu transparent est } c/n \end{cases}$.

Quelques valeurs : $n_{\text{eau}} = 1,3$; $n_{\text{diamant}} = 2,4$ (c'est l'un des plus élevés) ; $n_{\text{verre}} \simeq 1,5$ (peut aller de 1,2 à 1,8)

; $n_{\text{air}} = 1,0003$ (sous p et T standards) : on peut faire comme si $n_{\text{air}} \simeq 1$, donc une célérité de la lumière dans l'air d'environ c .

- milieu **homogène** : n prend la même valeur partout (contre exemple : mirages).
- milieu **isotrope** : la propagation de la lumière se fait de la même façon **quelle que soit la direction**.
- milieu **dispersif** : l'indice dépend de la longueur d'onde (exemple : verre d'un prisme, eau, ... \Rightarrow arcs en ciel = dispersion de la lumière blanche)

1. Sources de lumière, spectres

- * Laser : un laser produit un spectre composé d'une unique raie, très fine.
 - * Sources de lumière blanche : elles produisent toutes les longueurs d'onde entre 400 et 800 nm.
 - * Lampe spectrale : il s'agit d'une ampoule dans laquelle est enfermé un gaz. Les atomes du gaz sont excités par des décharges électriques, ce qui a pour effet de faire passer leurs électrons dans des états d'énergie plus élevée. Lorsque les électrons repassent dans un niveau d'énergie plus bas, ceci émet une onde de fréquence toujours identique.
- Modèle de la source ponctuelle monochromatique : une telle source est d'étendue réduite à un point (ponctuelle) et émettant une seule longueur d'onde (monochromatique).
- Le laser est la source s'en approchant le plus.

II. Théorie de l'optique géométrique : la lumière décrite par des rayons lumineux

1. Définitions et hypothèses de l'optique géométrique

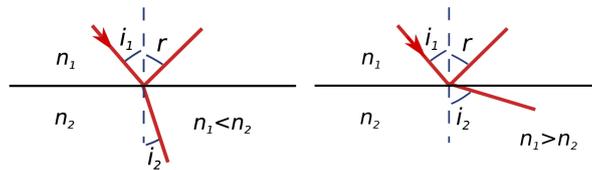
- Rayon lumineux : trajet suivi par les photons dans le point de vue corpusculaire.
 - Indice optique : $n = c/v$ avec v la vitesse du rayon lumineux.
 - Dioptre : surface séparant deux milieux d'indices optiques différents.
- Hypothèses de base sur les rayons lumineux :
- ils sont indépendants (ils se croisent sans se perturber) : on ne prend donc pas en compte les interférences.
 - ils ne sont pas déviés par des obstacles ou des ouvertures petites : on ne prend donc pas en compte la diffraction.
 - dans un milieu homogène, un rayon lumineux se propage en ligne droite.
 - Principe du retour inverse de la lumière : si un rayon lumineux va de A à B, alors le trajet de retour de B à A est le même.

2. Lois de Snell-Descartes

Soit un dioptre, dont on repère la normale. On appelle plan d'incidence le plan qui contient le rayon incident et la normale (c'est le plan de la feuille sur nos schémas). Un rayon incident sur le dioptre est en partie réfléchi, en partie transmis.

Lois de Snell-Descartes

- 1/ Les rayons transmis et réfléchi sont dans le plan d'incidence (donc dans le plan de la feuille).
- 2/ Rayon réfléchi : l'angle est donné par $i_r = i_1$.
- 3/ Rayon transmis : aussi appelé rayon réfracté. S'il existe il vérifie $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.



Attention : les angles sont toujours repérés **par rapport à la normale !**

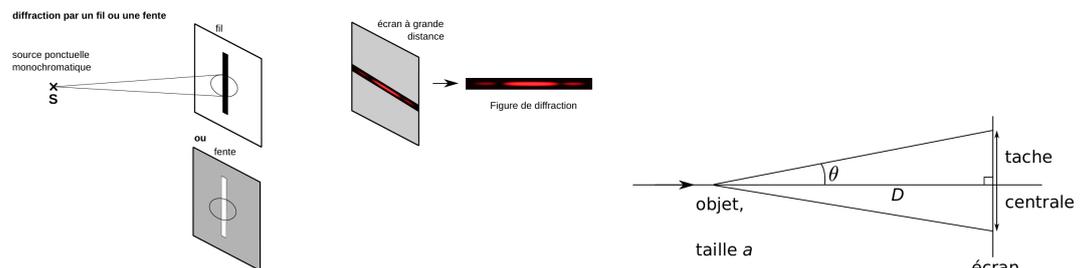
- ↪ EC1.
- b/ Angle de réfraction limite
Cas du passage vers un milieu plus réfringent : $n_1 < n_2$. L'angle i_2 possède alors une valeur maximale $i_{2,max}$.
- ↪ EC2.
- c/ Réflexion totale
Cas du passage vers un milieu moins réfringent : $n_1 > n_2$. Lorsque i_1 est supérieur à un angle limite $i_{1,lim}$, alors il n'y a plus de rayon réfracté. \Rightarrow la réflexion est totale. Ceci est utilisé par exemple pour guider la lumière dans les fibres optiques (cf TD), pour les détecteurs de pluie, etc.
- ↪ EC3.

3. Fibre optique : cône d'acceptance et dispersion intermodale : voir TD

4. Domaine de validité de la théorie de l'optique géométrique

Phénomène de diffraction : un faisceau de lumière rencontrant un objet de taille ou d'ouverture a , est "éclaté" et produit une tache. La demi-ouverture vérifie :

$$\sin \theta \simeq \frac{\lambda}{a}$$



Pour que la théorie de l'optique géométrique mène à des prédictions correctes, il faut que les phénomènes de diffraction soient négligeables.

Il faut donc $\frac{\lambda}{a} \ll 1$, donc il faut des objets ou ouvertures de taille $a \gg \lambda$. Un bon ordre de grandeur est $a \geq 1000\lambda \simeq 1 \text{ mm}$.