

Interactions

Définition : Absorption

L'*absorption* correspond au transfert d'une partie de l'énergie lumineuse vers le milieu dans lequel la lumière se propage.

Définition : Diffusion

La *diffusion* correspond à la redirection, par le milieu, d'une partie de l'énergie d'un rayon lumineux hors de sa direction principale.

Milieu d'étude

Définition : Milieu transparent, homogène et isotrope

Un milieu est dit *transparent* si l'*intensité lumineuse*, *ie* l'énergie transportée par la lumière, est *constante au cours de la propagation*.

Il est dit *homogène* si ses propriétés optiques *y* sont *uniformes*, *ie* ne dépendent pas de la position dans le milieu.

Il est dit *isotrope* si ses propriétés optiques ne dépendent pas de la direction de propagation de la lumière.

Modèle du rayon lumineux

Modèle du rayon lumineux

On établit le *modèle* du rayon lumineux, sans dimensions, vérifiant trois propriétés fondamentales :

Propagation rectiligne La lumière se propage *en ligne droite* dans un *transparent et homogène*.

Retour inverse Dans un milieu *transparent et isotrope*, le trajet de la lumière est *indépendant du sens de parcours*. Si un certain chemin reliant un point *A* à un point *B* peut être parcouru par un rayon, un rayon pourra suivre le même chemin pour aller de *B* à *A*.

Indépendance des rayons lumineux Le chemin suivi par un rayon lumineux *ne dépend pas du chemin d'autres rayons lumineux*.

Nature ondulatoire de la lumière

Modèle : nature ondulatoire de la lumière

On peut décrire la lumière comme une onde électromagnétique associée à la propagation d'un champ électrique (noté \vec{E}) et d'un champ magnétique (noté \vec{B}).

Sa vitesse de propagation vaut, pour une propagation dans le vide, $c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ par définition.

Fréquence et longueur d'onde

domaine	$\gamma \text{ m}$	$X \text{ (m)}$	UV (nm)	Visible (nm)			IR (nm)	μ -onde/radio (m)
λ	$\leq 1 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-12} \rightarrow 1e-8$	≤ 400	500	590	630	≥ 750	$\geq 1e-3$
				bleu	jaune	rouge		

Spectre d'un signal

Définition : Spectre

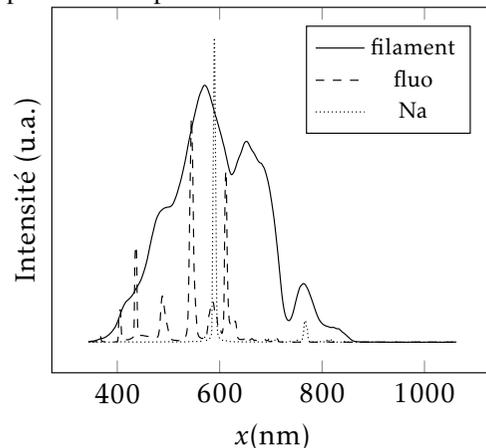
Le *spectre* d'un rayonnement électromagnétique décrit la répartition de l'énergie qu'il émet en fonction de la fréquence du rayonnement. On distingue des spectres :

continu lampe à incandescence, soleil, rayonnement du corps noir

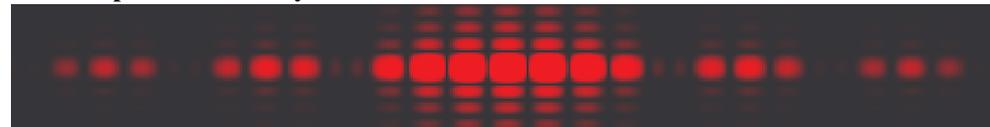
discret lampe spectrale, spectre d'émission/absorption atomique ou moléculaire, diode électroluminescente

monochromatique LASER

spectres d'un spectromètre à fibre

**Dimension transversale non nulle : diffraction****Diffraction**

Le modèle du rayon lumineux n'est pertinent que quand sa plus petite dimension transversale a vérifie $a \gg \lambda$.

Non indépendance des rayons : interférences**Interférences**

Les faisceaux formés par *division d'un même faisceau* ne sont pas indépendants : le modèle des rayons indépendants n'est pas valable en présence d'*interférences*.

Quantification de l'énergie : le photon**Quantification de l'énergie**

L'énergie d'un rayonnement lumineux ne peut pas prendre toutes les valeurs réelles : elle varie par *sauts discrets*, nommés *quanta*. On peut décrire un rayonnement monochromatique de fréquence ν comme formé de *particules* nommées *photons*, d'énergie $E = h\nu$, avec h la *constante de Planck* $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Retour inverse non vérifié : effet Faraday**Effet Faraday**

En présence d'un *champ magnétique extérieur*, on peut créer des dispositifs dans lesquels la lumière emprunte des chemins différents suivant son sens de parcours.

Dioptré et miroir**Définition : Dioptré et miroir**

On nomme *dioptré* l'interface entre deux milieux optiques aux propriétés optiques différentes.

On nomme *miroir* une surface recouverte d'un mince dépôt métallique réfléchissant.

Définition : Plan d'incidence

Pour un rayon incident sur une surface en un point I , le *plan d'incidence* est le plan défini par I , le rayon incident et le vecteur normal à la surface au point I .

Rayons réfléchis et réfractés**Définition : Rayons réfléchis et réfractés**

Soit un dioptre séparant deux milieux isotropes, notés 1 et 2.

Un rayon (noté I), se propageant dans un milieu 1 (alors nommé **incident**) d'indice n_1 et atteignant le dioptre (resp. miroir) au point dit d'**incidence**, noté M_I , donne naissance à deux rayons (resp. un rayon) :

réfléchi (R) se propageant dans le milieu d'incidence 1 dans

les deux cas,

réfracté ou transmis (T) se propageant dans le milieu 2,

uniquement dans le cas du dioptre.

On note :

\vec{k}_i le vecteur unitaire dirigeant le rayon incident,

$\vec{N}_{1 \rightarrow 2}$ le vecteur unitaire normal au dioptre au point

M_I , dirigé de 1 vers 2,

\mathcal{P}_I le plan d'incidence, engendré par M_I , \vec{k}_i et $\vec{N}_{1 \rightarrow 2}$

Coplanarité**1^{re} loi : Coplanarité**

Les rayons I , R et T sont *coplanaires* dans le plan d'incidence \mathcal{P}_I .

Réflexion**2^e loi : Réflexion**

La trajectoire du rayon réfléchi est *symétrique* de celle du rayon incident par rapport au vecteur normal $\vec{N}_{1 \rightarrow 2}$ au dioptre au point d'incidence.

Réfraction**3^e loi : Réfraction et indice**

Un milieu optique transparent homogène et isotrope est caractérisé par un *indice de réfraction* n . Lors de la traversée d'un dioptre séparant un milieu 1 d'indice n_1 d'un milieu 2 d'indice n_2 , les angles *orientés* d'incidence i (rayon I) et de réfraction t (rayon T) vérifient :

$$n_1 \sin i = n_2 \sin t.$$

Indice du vide et indice absolu**Définition : Indice absolu**

On *définit* l'indice *absolu* d'un milieu par :

- $n = 1$ pour le vide,
- $n_X = \frac{\sin i}{\sin t}$ lors de la réfraction du vide vers un milieu X .

Propriétés

	Bleu $\lambda_0 = 486,1 \text{ nm}$	Vert $\lambda_0 = 589,0 \text{ nm}$	Rouge $\lambda_0 = 656,3 \text{ nm}$
Verre Crown	1,523	1,517	1,514
Verre Flint	1,585	1,575	1,571
Diamant	2,435	2,417	2,410
Eau	1,338	1,333	1,331
Air (20°C 1 bar)	1,000293		

Dispersion

Définition : Dispersion

Un milieu optique est dit *dispersif* si son indice de réfraction *varie avec la longueur d'onde*.

Loi de Cauchy

La *loi de Cauchy* (1836) donne, pour le visible, les variations de l'indice d'un milieu transparent avec la longueur d'onde dans le vide notée λ_0 :

$$n = n_0 + \frac{A}{\lambda_0^2} \quad A > 0.$$

En optique physique**Indice et vitesse de la lumière**

La vitesse, notée v_n , de la lumière dans un milieu d'indice n est différente de sa vitesse dans le vide c . L'*indice absolu* n d'un milieu représente le quotient $n = \frac{c}{v_n}$.

Déviation**Déviation à la réfraction**

Lors de la réfraction d'un milieu 1 vers un milieu 2 plus (resp. moins) réfringent, le rayon réfracté se rapproche (resp. s'éloigne) de la normale au dioptre.

Réflexion totale**Définition : Réflexion totale**

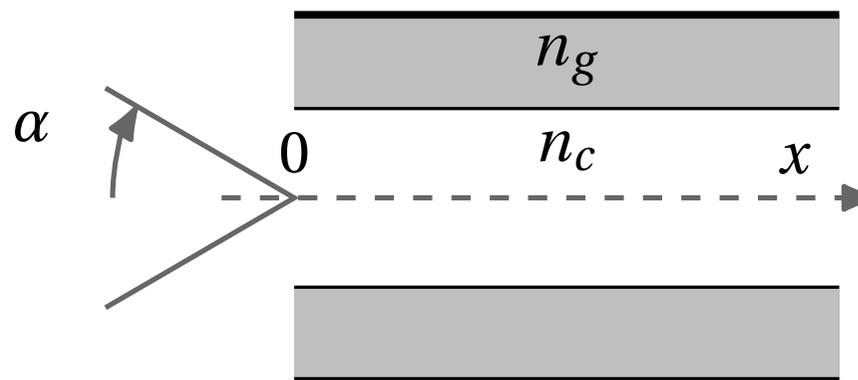
Lors de la réfraction vers un milieu *moins réfringent*, il n'y a pas de rayon réfracté si l'angle d'incidence est *supérieur* à l'*angle de réfraction limite* i_ℓ tel que :

$$\sin i_\ell = \frac{n_2}{n_1}.$$

On dit qu'il y a *réflexion totale*.

Exercice

- Justifier que l'indice doit être supérieur dans le cœur pour que les rayons lumineux puissent y rester sans passer dans la gaine.



- La fibre est plongée dans l'air d'indice $n = 1$. Déterminer l'angle maximal α_{\max} que peut former un rayon avec l'axe de la fibre pour pouvoir y être guidé. Calculer α pour $n_c = 1,48$ et n_g inférieur de 1,4%. Tracer le trajet du rayon dans les cas $\alpha = 0$ et $\alpha = \alpha_{\max}$.
- Déterminer la durée $\Delta t(\beta)$ mise pour progresser d'une distance x en fonction de l'angle β formé par le rayon avec l'axe de la fibre.
- On envoie des impulsions de période τ . Montrer que les signaux associés aux rayons d'angles $\alpha = 0$ et α_{\max} se brouillent au bout d'une distance L dont on estimera l'ordre de grandeur en fonction de c, τ et des indices. Estimer L pour $T = 1 \mu\text{s}$.

Caractéristiques d'une fibre

Caractéristiques d'une fibre à saut d'indice

- Le **cône d'admission** d'une fibre à saut d'indice délimite les rayons pouvant se propager dans le cœur en subissant des réflexions totales à la frontière de la gaine. Son 1/2 -angle au sommet vaut :

$$\sin(\alpha_{\max}) = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}.$$

- La **dispersion intermodale** caractérise la différence de vitesse axiale d'un rayon le long de la fibre. La durée Δt de propagation pour une longueur L le long de la fibre parcourue par un rayon incliné d'un angle β par rapport à l'axe de la fibre est :

$$\frac{Ln}{c \cos(\beta)}.$$

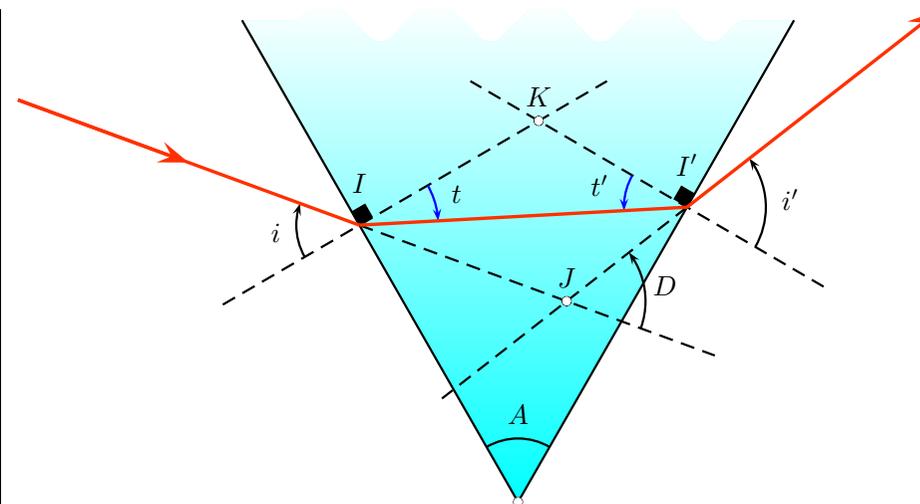
Prisme optique

Définition : Prisme optique

Un **prisme optique** est un milieu réfringent transparent, homogène et isotrope délimité par deux dioptries formant un dièdre.

Déviation vers la base

Un prisme plongé dans un milieu moins réfringent que le matériau dont il est constitué dévie les rayons lumineux **vers sa base**.

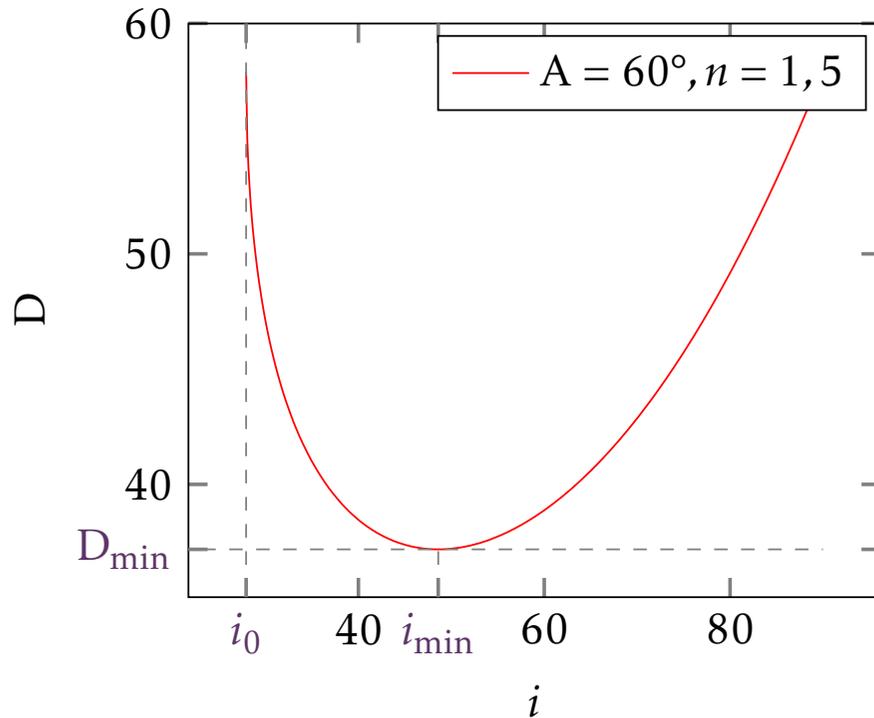


Minimum de déviation

La déviation D passe pour un minimum en fonction de i (animation du prisme)

Minimum de déviation

Au minimum de déviation d'un prisme, on a $i = i' = i_m$ et $t = t' = t_m$.



Équation différentielle de la trajectoire

$$\frac{dx}{dz} = \frac{n_0 \sin i_0}{\sqrt{n^2(z) - n_0^2 \sin^2(i_0)}}$$

Indispensable

Indispensable

- les 3 lois de Snell-Descartes *avec les schémas*
- réfringence et éloignement/rapprochement de la normale
- réflexion totale
- calculs : formules du prisme et indice variable pas au programme, à s'entraîner
- interprétation ondulatoire pas au programme

Illustration qualitative : mirages

Loi de Gladstone

Soit un fluide de masse volumique ρ et d'indice de réfraction n . Le quotient :

$$\frac{n-1}{\rho},$$

est constant lors des variations de masse volumique.

Modélisation