

Modèle scalaire des ondes lumineuses

1 Rappels importants d'optique

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}; \quad \omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi}{T_0}; \quad f_0 = \frac{c}{\lambda}$$

- Dans un milieu homogène isotrope, les rayons lumineux sont rectilignes
- A l'interface entre deux milieux, Les rayons peuvent être réfléchis ou réfractés, dépendamment d'une propriété du milieu : l'indice de réfraction défini par $n = \frac{c}{v}$ (c = vitesse de la lumière dans le vide, v = vitesse de la lumière dans le milieu)
- **Loi de Snell-Descartes** : indique la géométrie des rayons lumineux à l'interface entre deux milieux : le rayon réfléchi et réfractés sont dans le plan d'incidence (défini par le rayon incident et la normale au dioptré au point d'incidence).
- Lien entre le point d'incidence et de réflexion : $i = i'$
réfraction : $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$
- Validité du modèle de l'optique géométrique : $\lambda \ll L$

2 Modèle scalaire des ondes lumineuses

- La lumière est une vibration lumineuse considérée comme monochromatique
monochromatique = 1 seule couleur
fréquence
pulsation
longueur d'onde dans le vide
« sinusoidale », « harmonique »

Dans le vide on écrira $a(S, T) = A(S) \cos(\omega_0 t) \rightarrow$ Pour une source S

$$a(M, t) = A(M) \cos(\omega_0 t - \phi(M)) \rightarrow \text{Pour un point M}$$

- Surface d'onde : Ensemble des points issus d'une même source S, équiphases à l'instant t
- **Théorème de Malus** : Les rayons sont orthogonaux aux surfaces d'ondes
- Ondes sphériques : Ondes dont les surfaces d'ondes sont centrées en S

$$a(M, t) = \frac{A}{r} \cos(\omega_0 t - \phi(M))$$

- Ondes planes : Ondes dont les surfaces d'ondes sont parallèles

$$a(M, t) = A_0 \cos(\omega_0 t - \phi(M)) \rightarrow \text{Pour une OPH (ou OPM)}$$

3 Lentilles minces convergentes

- Système centré : Système possédant une symétrie de révolution par rapport à un axe appelé axe optique
- Un rayon lumineux st paraxial s'il est peu incliné par rapport à l'axe optique et frappant un dioptré à une petite distance devant le rayon de la lentille
- Approximation de Gauss : Etude des systèmes centrés limitée aux rayons paraxiaux.

4 Propagation de la lumière

— Chemin optique : $(SM) = \int_S^M n(p) dS = c \times \underbrace{\delta_M}_{\text{Retard}}$

Le chemin optique est une mesure en unité de longueur du retard de propagation

Dans un milieu homogène : $\underbrace{(SM)}_{\text{Optique}} = \underbrace{nSM}_{\text{Géométrique}}$

— Retard de phase : $\phi(M) = \omega_0 \delta_M + \phi_S = 2\pi \frac{(SM)}{\lambda_0} + \phi_S$

— Différence de marche : $\Delta\phi = 2\pi \frac{\delta}{\lambda_0}$ avec $\delta = (SM)_1 - (SM)_2$ la ddm

5 Modélisation de l'émission de lumière

Modèle de l'émission par train d'ondes : Dans une source lumineuse, chaque atome émet de la lumière par salves de trains d'ondes tels qu'un train d'onde est une sinusoïde tronquée et la date d'émission, la phase à l'origine et la durée des trains d'ondes sont aléatoires.

— On appelle **Temps de cohérence** d'une radiation lumineuse d'une source lumineuse la durée moyenne des trains d'ondes notée τ_c (en s)

— On appelle **longueur de cohérence** la longueur parcourue par l'onde dans le vide (ou dans l'air) pendant τ_c : $L_c = c\tau_c$

En ordre de grandeur :

- Lumière blanche : $L_c \sim 1\mu m$
- Lampe spectrale : $L_c \sim 1mm$ à qqes cm
- Laser He-Ne de labo : $L_c \sim 30cm$

— On appelle **largeur spectrale en fréquence** Δf d'un pic associé à une radiation à la fréquence f_0 la largeur à mi hauteur de ce pic. (on peut définir de la même manière la **longueur spectrale en longueur d'onde** $\Delta\lambda$)

— Le produit du temps de cohérence et de la largeur spatiale en fréquence est, en ODG, égal à 1 : $\Delta\nu \cdot \tau_c \sim 1$

— Liens à savoir retrouver (voir question de colle) $\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2}{c} \cdot \Delta f$ et $\Delta\lambda \cdot \tau_c \sim \frac{\lambda_0^2}{c}$

6 Détection de ondes lumineuses

— On appelle **intensité** I , ou **éclairement** \mathcal{E} la grandeur $\mathcal{E} = k \langle a^2(M, t) \rangle$ ou $k = \text{cte positive}$ et $\mathcal{E} = W \cdot m^{-2}$

— Vocabulaire :

- **Temps de réponse** d'un détecteur : temps minimum entre deux signaux pour qu'ils soient perçus de manière distincte.
Temps de réponse de l'oeil humain : 0.1s (env.)
- **Sensibilité** : Variation du signal de sortie rapporté à la variation du signal d'entrée

7 Annexe : outils supplémentaires

— A toute vibration lumineuse on peut lui associer la notation complexe : $\underline{a}(M, t) = A(M)e^{j(\omega t - \phi(M))}$ telle que $a(M, t) = \Re(\underline{a}(M, t))$

— Dans un milieu homogène, on appelle **vecteur d'onde** la grandeur $\vec{k} = \frac{2\pi n}{\lambda_0} = \frac{2\pi}{\lambda}$

— Conséquence 1 du Théorème de Malus : Il y a égalité du chemin optique le long de deux rayons différents compris entre 2 surfaces d'ondes ou entre la source et une surface d'onde

— Conséquence 2 du théorème de Malus : Pour un système optique stigmatique (L'image d'un point est un point), donnant une image A' d'un point A , tous les chemins (AA') sont égaux quelque soit les trajets lumineux