

SAVOIRS

Thème 1 - Modèle scalaire des ondes lumineuses

[S1.1] Vibration lumineuse

On associe une grandeur scalaire à une composante quelconque du champ électrique qui s'appelle vibration lumineuse :

$$s(M, t) = s_0 \cos(\omega t - \varphi(M))$$

où s_0 représente l'amplitude de l'onde, ω est la pulsation de l'onde et $\varphi(M)$ est la phase de l'onde au point M .

[S1.2] Chemin optique

Le chemin optique (MN) est la distance que pourrait parcourir la lumière si elle se propageait dans le vide pendant le temps t_{MN} qui correspond à la durée de propagation dans le milieu pour aller du point M au point N .

$$(MN) = ct_{MN}.$$

Dans le vide le chemin optique est égale à la distance parcourue par la lumière au soit :

$$(MN) = MN.$$

Dans un milieu homogène d'indice n , le chemin optique vaut :

$$(MN) = n MN.$$

Dans le cas général, le chemin optique est donné par :

$$(MN) = \int n. dl$$

où dl est le rayon lumineux élémentaire.

- ✓ Cette expression correspond à la définition générale du chemin optique.
- ✓ Le chemin optique est compté positivement pour un chemin réel et négativement pour un chemin virtuel.

[S1.3] Déphasage dû à la propagation

Pour aller du point M au point N le temps de propagation vaut t_{MN} on aura donc un retard de phase de :

$$\Delta\varphi_{MN} = \varphi(N) - \varphi(M) = \omega t_{MN} = \frac{\omega}{c} (MN) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (MN).$$

- ✓ Le retard de phase est une grandeur sans dimension. Elle dépend du chemin optique donc de l'indice du milieu.

[S1.4] Surface d'onde

Pour la source S , la surface d'onde est définie par l'ensemble des points M qui vérifient $\Delta\varphi_{SM} = \varphi(M) - \varphi(S) = \text{constante}$.

- ✓ La surface d'onde peut aussi être définie par l'ensemble des points M qui vérifient $(SM) = \text{constante}$.
- ✓ L'équation de la surface d'onde caractérise l'onde.

[S1.5] Loi de Malus

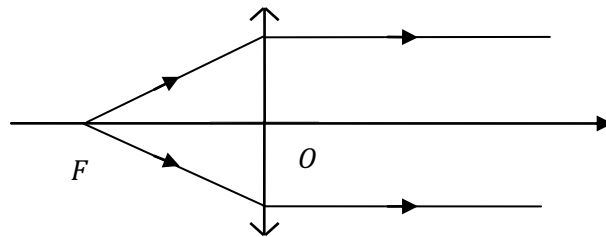
La loi de Malus dit que les rayons lumineux sont perpendiculaires aux surfaces d'onde.

- ✓ Une onde plane est caractérisée par sa surface d'onde qui est un plan.
- ✓ Une onde sphérique est caractérisée par une surface d'onde qui est une sphère.

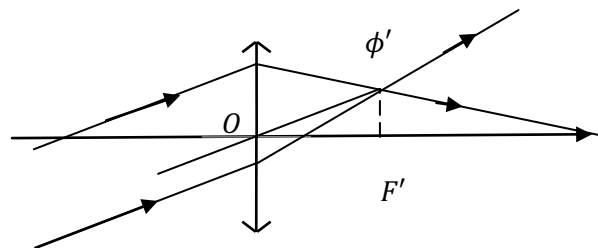
[S1.6] Effet d'une lentille sur une onde

Dans l'approximation de Gauss, une lentille permet de transformer une onde sphérique en une onde plane et inversement.

En prenant la source placée au foyer objet de la lentille, on obtient une onde plane :



En prenant une source placée à l'infini, on obtient après traversée de la lentille une onde sphérique dont le centre est au foyer image secondaire ϕ' :



L'image d'un point objet A est un point nommé A' . Dans l'approximation de Gauss le chemin optique pour aller de A à A' vérifie donc la relation suivante :

$$(AA') \approx \text{constante}.$$

[S1.7] Les sources lumineuses

Il existe plusieurs sources lumineuses. On travaille principalement avec trois sortes de sources qui sont :

- La lampe spectrale basse pression qui utilise des décharges électriques dans un gaz qui peut être du mercure, du sodium ou du cadmium. Cette source de lumière émet un spectre de raies caractéristique du gaz. Son temps de cohérence est de l'ordre de $\tau_c \approx 10^{-11}$ s.
- Le laser qui est une source quasi monochromatique. Son temps de cohérence est de l'ordre de $\tau_c \approx 10^{-7}$ s.
- La source de lumière blanche qui émet un spectre continu dont les longueurs d'onde dans le vide sont comprises entre 400 et 750 nm grâce à un filament qui est chauffé. Son temps de cohérence est de l'ordre de $\tau_c \approx 10^{-13}$ s.

[S1.8] Temps de cohérence et largeur spectrale

On peut relier le temps de cohérence τ_c à la largeur spectrale Δf . Plus la largeur spectrale est fine plus le temps de cohérence est grand donc :

$$\Delta f \cdot \tau_c \approx 1.$$

✓ Le temps de cohérence τ_c correspond à la durée moyenne du train d'onde.

[S1.9] Intensité lumineuse

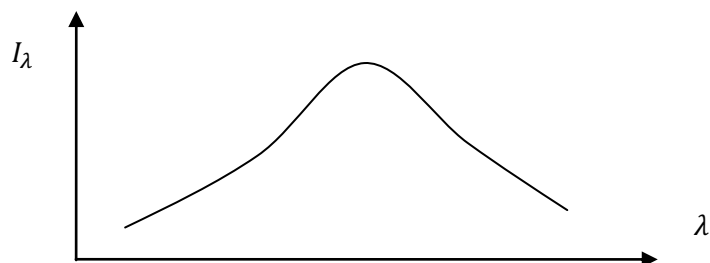
L'intensité lumineuse I est proportionnelle à la moyenne temporelle du carré de la vibration lumineuse $s(M, t)$ soit :

$$I = K \langle s(M, t)^2 \rangle.$$

[S1.10] Profil spectral d'une source lumineuse

Il n'existe pas de lumière parfaitement monochromatique mais toute vibration lumineuse réelle $s(M, t)$ peut se décomposer en une somme de vibrations monochromatiques en utilisant la transformée de Fourier.

La source lumineuse est caractérisée par son spectre qui représente son intensité spectrale I_λ en fonction de la longueur d'onde λ :



✓ On peut observer les différentes composantes de la lumière grâce à un prisme ou un réseau et obtenir ainsi le spectre.

[S1.11] Récepteur

Le récepteur est sensible à l'intensité lumineuse car le temps de réponse du récepteur est bien supérieur à la période des signaux.

✓ Le temps de réponse de l'œil est de 0,1 s alors que la période est de l'ordre de 10^{-14} s.

✓ Le récepteur est placé perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde lumineuse.

Thème 2 - Superposition d'ondes lumineuses

[S2.1] Superposition de deux ondes cohérentes : formule de Fresnel

L'intensité obtenue pour deux ondes cohérentes monochromatiques d'intensité respectives I_1 et I_2 est donnée par la formule de Fresnel :

$$I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi(M)$$

où φ représente la différence de phase entre les deux ondes arrivant au point M .

- ✓ Pour des ondes cohérentes, il faut sommer les amplitudes puis élever leur somme au carré pour obtenir l'intensité totale.
- ✓ Cette formule est utile à connaître pour la superposition de deux ondes cohérentes.

[S2.2] Contraste

Le contraste est défini en fonction de l'intensité maximale I_{max} et de l'intensité minimale I_{min} par l'expression suivante :

$$C = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

En utilisant la formule de Fresnel, on trouve que le contraste vaut :

$$C = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2}$$

- ✓ On obtient un contraste égal à 1 pour des intensités identiques. C'est le meilleur contraste que l'on puisse obtenir.

[S2.3] Superposition de deux ondes incohérentes

Lorsque les ondes sont incohérentes, il suffit de sommer les intensités soit :

$$I(M) = I_1 + I_2.$$

- ✓ Dans les exercices, il faut se poser la question de la cohérence ou non des sources.
- ✓ Si les sources sont incohérentes, il suffit de sommer les intensités.

[S2.4] Superposition de N ondes cohérentes entre elles

On superpose N ondes cohérentes entre elles de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétiques.

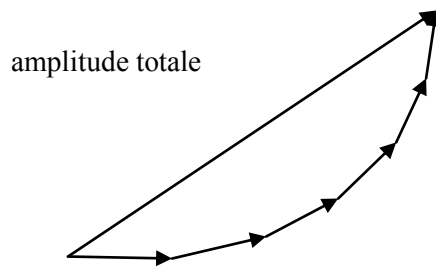
Chaque onde est représentée par la vibration lumineuse suivante :

$$s_i(M, t) = s_0 \cos(\omega t - i\varphi).$$

La vibration totale est égale à :

$$s(M, t) = \sum_{i=1}^N s_i(M, t).$$

Comme le calcul n'est pas simple, on utilise alors la représentation de Fresnel afin d'obtenir l'amplitude totale. La représentation de Fresnel pour 6 ondes cohérentes de même amplitude et de même déphasage donne :



Pour trouver l'intensité maximale, tous les vecteurs doivent être alignés soit :

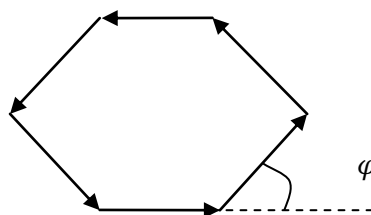


La phase doit alors vérifier en fonction de l'entier m :

$$\varphi = 2m\pi.$$

✓ Les valeurs de la phase correspondant aux maxima d'intensité sont indépendantes du nombre de sources.

La première annulation de l'intensité correspond au schéma suivant :



La phase doit alors vérifier la relation suivante :

$$N\varphi = 2\pi.$$

✓ La finesse du pic d'intensité dépend du nombre de sources.

On peut aussi utiliser un logiciel qui représente l'intensité en fonction de la phase pour différentes valeurs de N . Sur le graphe sont représentées les courbes de l'intensité divisé par l'intensité maximale en fonction de la phase φ .

On constate que les valeurs de la phase sont indépendantes du nombre de sources et que la largeur des pics décroît lorsque le nombre de sources augmente.

Les courbes sont représentées pour $N = 2$; $N = 3$; $N = 10$; $N = 30$.

