

Optique Ondulatoire ; Interférences à deux ondes

1 Modèle scalaire des ondes lumineuses

On définit l'état vibratoire de l'onde lumineuse par une grandeur scalaire, notée $s(\vec{r}, t)$, qui représente la composante du champ électrique de l'onde électromagnétique le long de sa direction de polarisation.

Localement, l'onde lumineuse présente une structure d'onde plane de sorte que le rayon lumineux est perpendiculaire à la surface d'onde (Théorème de Malus).

Cette approximation est justifiée :

- ✓ Dans le cas très fréquent d'ondes non polarisées dont les directions de propagation sont voisines.
- ✓ Pour des ondes polarisées dont on sait que les directions de polarisation sont voisines.

2 Éclairement ou intensité lumineuse

Soit la source lumineuse, placée au point O, l'onde lumineuse qui arrive au point M est donnée par :

On définit alors la grandeur « Éclairement » ou « Intensité lumineuse au point M » par :

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

3 Conditions d'interférences ; Cohérence mutuelle

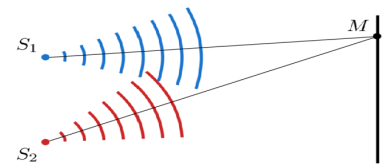
Considérons deux sources ponctuelles monochromatiques placées respectivement aux points O_1 et O_2 de pulsations ω_1 et ω_2

Les ondes lumineuses qui arrivent au point M sont :

$$s_1(M, t) \text{ et } s_2(M, t).$$

L'onde totale au point M est :

$$s(M, t) = s_1(M, t) + s_2(M, t)$$



Les ondes lumineuses qui arrivent au point M sont :

$$s_1(M, t) = s_{01} \cos(\omega_1 t - k_1 \cdot S_1 M + \phi_{01}) \text{ et } s_2(M, t) = s_{02} \cos(\omega_2 t - k_2 \cdot S_2 M + \phi_{02})$$

avec ϕ_{01} et ϕ_{02} sont les déphasages des deux sources à l'origine.

L'onde totale au point M est $s(M, t) = s_1(M, t) + s_2(M, t)$ et l'intensité lumineuse au point M est : $I(M) = \langle (s_1 + s_2)^2 \rangle = \langle s_1^2 \rangle + \langle s_2^2 \rangle + 2 \cdot \langle s_1 \cdot s_2 \rangle$

$$= I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1}\sqrt{I_2} \underbrace{< \cos(\omega_1 t - k_1 \cdot S_1 M + \phi_{01}) \cdot \cos(\omega_2 t - k_2 \cdot S_2 M + \phi_{02}) >}_{\uparrow}$$

.

terme d'interférence

$$I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1}\sqrt{I_2} < \cos((\omega_2 - \omega_1)t - (k_2 \cdot S_2 M - k_1 \cdot S_1 M) + \phi_{02} - \phi_{01}) >$$

Le terme d'interférence est non nul si :

$$\begin{cases} \omega_2 = \omega_1, & \text{même fréquence} \\ \phi_{02} = \phi_{01} & \text{même déphasage à l'origine} \end{cases}$$

Donc pour avoir phénomène d'interférence avec deux sources, il faut utiliser un point source qui émet une onde monochromatique et un dispositif interférentiel qui donne deux sources S_1 et S_2 (qui ont le même déphasage à l'origine) ;

S_1 et S_2 sont appelées sources **mutuellement cohérentes**.

$k_1 = k_2 = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi \cdot n}{\lambda_0}$ avec λ_0 la longueur d'onde dans le vide et n l'indice de réfraction du

$$\text{milieu. } I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1}\sqrt{I_2} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}((S_2 M) - (S_1 M))\right) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1}\sqrt{I_2} \underbrace{\cos\left(2\pi \frac{\delta}{\lambda_0}\right)}_{\uparrow}$$

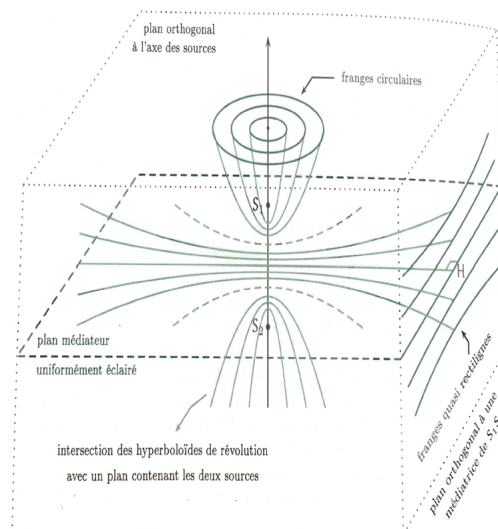
.

terme d'interférence

$\delta = (S_2 M) - (S_1 M)$ est appelée **différence de marche** optique

4 Surfaces iso-intensités et franges

Les surfaces de même intensité sont appelées surface iso-intensité et sont définies par M tel que $I(M) = \text{constante}$ c'est à dire que : $(S_2 M) - (S_1 M) = \text{cste}$ si $(SS_1) = (SS_2)$ et dans le vide on obtient : $S_2 M - S_1 M = \text{cste}$ qui définit l'équation des hyperboloïdes de foyers S_1 et S_2 . L'intersection des surfaces iso-intensité avec l'écran d'observation définit la notion des **franges**. On distingue deux types d'observations : **transversale** et **longitudinale**.



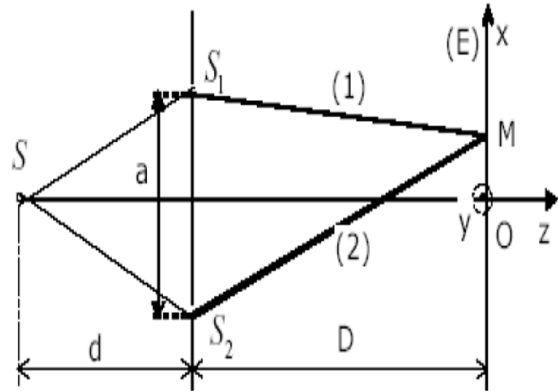
4.1 Observation transversale

L'écran est perpendiculaire à l'axe de propagation (axe optique), dans cette situation l'écran est parallèle à $S_1 S_2$.

Les franges sont donc des hyperboles assimilées à des droites caractérisées par l'interfrange i qui est la distance qui sépare deux franges successives de même nature.

Montrer que :

$$\delta = a \frac{x}{D}$$



4.2 Observation longitudinale

L'écran est perpendiculaire à l'axe des foyers S_1S_2 , dans cette situation l'écran est perpendiculaire à S_1S_2 .

Les franges sont donc des anneaux caractérisées par leur rayon.

5 Ordre d'interférence, facteur de contraste

On appelle ordre d'interférence la quantité $p = \frac{\delta}{\lambda_0}$ et qui a pour rôle de repérer la nature des franges brillantes et leurs numéros.

$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } p \text{ est } \mathbf{entier} \text{ l'intensité est maximale et la frange est dite } \mathbf{brillante} \\ \text{si } p \text{ est } \mathbf{demi-entier} \text{ l'intensité est minimale et la frange est dite } \mathbf{sombre} \end{array} \right.$

Le contraste (ou facteur de visibilité) est défini par :

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

Dans le cas où $C = 1 \implies I_{min} = 0$ c'est le cas d'une source ponctuelle monochromatique.

Remarque : c est la capacité pour que les deux ondes puissent interférer.

6 Divisions du front d'ondes ; Division d'amplitude

Concrètement, pour réaliser au moins deux sources cohérentes, le plus simple consiste à utiliser l'un des deux dispositifs suivants :

Interféromètre à division du front d'onde : on prélève sur un faisceau incident deux faisceaux provenant de deux endroits différents du front d'onde.

Exemples : Fentes d'Young, Miroirs de Fresnel, Biprisme de Fresnel, Bilentilles de Billet, Miroirs de Lloyd.

Interféromètre à division d'amplitude :

une surface partiellement réfléchissante opère une division du flux lumineux incident. Les deux faisceaux émergents sont cohérents et interfèrent après avoir parcouru des chemins différents. Exemples : Lames à faces parallèles, Interféromètre de Michelson.

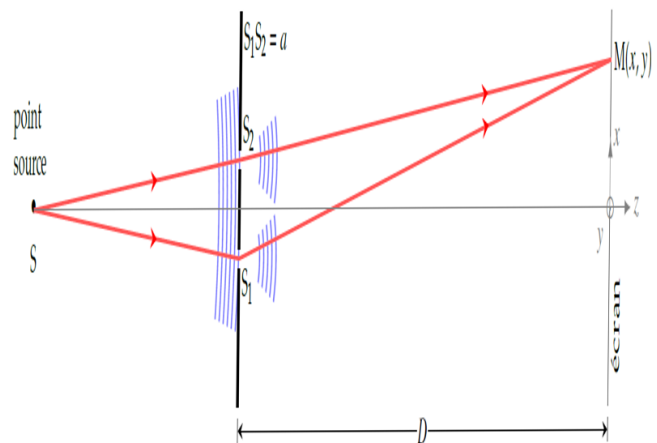
7 Interférences non localisées et Interférences localisées de deux ondes totalement cohérentes

Lorsque la source est ponctuelle et monochromatique le contraste est maximale et on observe les interférences dans tout le champs d'interférence on parle dans ce cas d'interférences **non localisées**, alors que si la source est large le contraste n'est pas max et les interférences sont **localisées**.

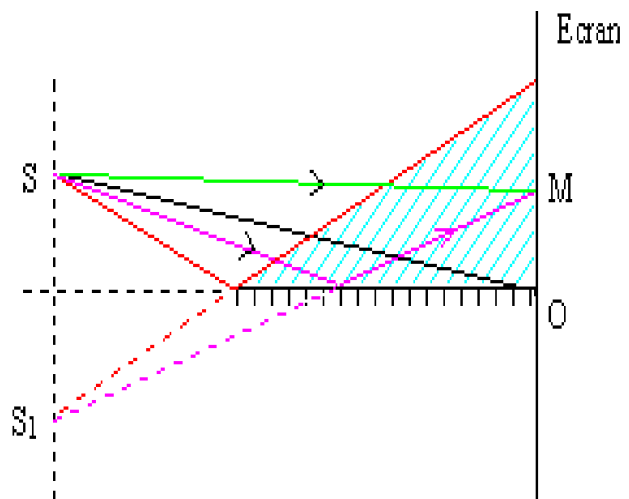
8 Divisions du front d'ondes

8.1 Trous d'Young

$$\delta = a \frac{x}{D}$$



8.2 Miroir de Lloyd



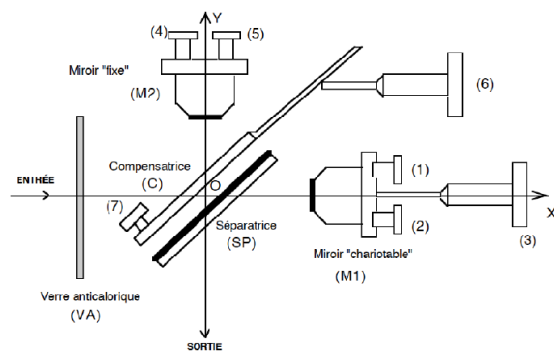
9 Division d'amplitude

9.1 Lames d'air à faces parallèles

9.2 Coin d'air

9.3 interféromètre de Michelson

9.3.1 Description de l'appareil



9.3.2 observation Longitudinale ; $M_1 \perp M_2$

On élaire l'appareil à l'aide d'une source ponctuelle monochromatique S.

Chercher l'image S'_1 de S par rapport à la séparatrice SP ?

Chercher l'image S'_2 de S par rapport au miroir M_2 ?

Chercher l'image S_1 de S'_1 par rapport au miroir M_1 ?

Chercher l'image S_2 de S'_2 par rapport à la séparatrice SP ?

Déterminer la distance entre S_1 et S_2 en fonction de $e = OO_1 - OO_2$.

Tracer les deux rayons qui interferent et donner l'équivalence de l'interféromètre de Michelson dans le cas où $M_1 \perp M_2$.

On observe la figure d'interférence appelé ***franges d'égale inclinaison*** sur le plan focale image d'une lentille convergente L, Déterminer l'ordre d'interférence au foyer image principale F' de L.

Déterminer le rayon R_{kb} du $k^{ième}$ anneau brillant.

Remarque :

Dans le cas où $e = 0$: **contact optique**, l'écran est uniformément éclairé.

Le contact optique sert pour régler l'interféromètre de Michelson en lumière blanche.

9.3.3 observation transversale ; M_1 et M_2 ne sont pas $\perp$

De même chercher S_1 et S_2 .

Tracer les deux rayons qui interfèrent et donner l'équivalence de l'interféromètre de Michelson dans le cas où $M_1 \perp M_2$.

On observe la figure d'interférence appelé ***franges d'égale épaisseur*** sur un écran d'observation image de la figure d'interférence par une lentille convergente L, Déterminer l'interfrange i sur l'écran pour une incidence quasi-normale.

..