Superposition d'ondes lumineuses

Superposition de deux ondes lumineuses monochromatiques

Soit deux sources ponctuelles S_1 et S_2 qui émettent des OPPM telles que : $\begin{cases} s_1(S_1,t) = s_{1m}\cos(\omega_1 t + \varphi_{01}) \\ s_2(S_2,t) = s_{2m}\cos(\omega_2 t + \varphi_{02}) \end{cases}$

Au point M : $\begin{cases} s_1(M,t) = s_{1m}\cos(\omega_1 t - \varphi_1(M)) \\ s_2(M,t) = s_{2m}\cos(\omega_2 t - \varphi_2(M)) \end{cases}$

Théorème de superposition, onde résultante en M : $s(M,t) = s_1(M,t) + s_2(M,t)$

Intensité lumineuse résultante en M ($K=1$) :

$$I(M) = \langle s^2(M,t)\rangle = \left\langle \left(s_1(M,t)+s_2(M,t)\right)^2\right\rangle = I_1(M) + I_2(M) + 2\langle s_1(M,t)s_2(M,t)\rangle$$

Troisième terme dit terme d'interférence se simplifie en :

$$\langle s_1(M,t)s_2(M,t)\rangle == \sqrt{I_1(M)I_2(M)}\left\langle \cos\left((\omega_1-\omega_2)t + \varphi_2(M) - \varphi_1(M)\right)\right\rangle$$

L'intensité lumineuse résultante se met alors sous la forme :

$$I(M) = I_1(M) + I_2(M) + 2\sqrt{I_1(M)I_2(M)}\left\langle \cos\left((\omega_1-\omega_2)t + \varphi(M)\right)\right\rangle$$

$$avec \quad \varphi(M) = \varphi_2(M) - \varphi_1(M) = \frac{2\pi}{\lambda_2}(S_2M) - \frac{2\pi}{\lambda_1}(S_1M) - \varphi_{02} + \varphi_{01}$$

Cohérence des sources

Définition :

Deux sources sont dites **incohérentes** si les ondes n'interfèrent pas entre elles. L'intensité est la somme des intensités de chacune des deux sources.

$$I(M) = I_1 + I_2 \tag{1}$$

Deux sources sont dites **cohérentes**, lorsque l'intensité lumineuse résultante n'est pas la somme de leurs deux intensités, I_1 et I_2, il y a en plus un terme d'interférence.

$$I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2}\cos(\varphi(M)) \tag{2}$$

Propriétés :

Deux sources cohérentes sont nécessairement **synchrones** : elles ont même pulsation.

Deux sources cohérentes doivent avoir un déphasage constant dans le temps (issu du même train d'onde).

Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles

Définitions :

On appelle **différence de marche** au point M, $\delta(M)$, la longueur :

$$\delta(M) = \frac{\lambda_0}{2\pi}\varphi(M) = \delta_{géo}(M) + \delta_{\sup} = (S_2M) - (S_1M) + \delta_{\sup} \tag{3}$$

On appelle **ordre d'interférence** en M, $p(M)$, le rapport :

$$p(M) = \frac{\varphi(M)}{2\pi} = \frac{\delta(M)}{\lambda_0} \tag{4}$$

Propriété :

Dans le cas de franges brillantes, on parle **d'interférences constructives** : $I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2}$

$$\varphi(M) = 0[2\pi] \quad \Leftrightarrow \quad \delta(M) = 0[\lambda_0] \quad \Leftrightarrow \quad p(M)\, est\ un\ entier$$

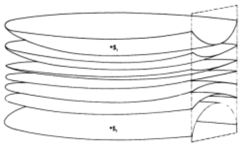
Dans le cas de franges sombres, on parle **d'interférences destructives** : $I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1I_2}$

$$\varphi(M) = \pi[2\pi] \quad \Leftrightarrow \quad \delta(M) = \frac{\lambda_0}{2}[\lambda_0] \quad \Leftrightarrow \quad p(M)\, est\ un\ demi-entier$$

Pour des ondes de même pulsation, ω, de même amplitude, s_0, l'intensité lumineuse du champ d'interférence se met sous la forme : $I(M)=2I_0\left(1+\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\delta(M)\right)\right)$

Les franges d'interférences sont le lieu des points tel que : $(S_2M)-(S_1M)=cte$

Il s'agit d'hyperboloïdes de révolution de foyers S_1 et S_2.



Intersection avec un plan perpendiculaire à l'axe des sources secondaires (S_1S_2) : les franges brillantes sont des cercles

Intersection avec un plan parallèle à (S_1S_2) : les franges brillantes sont des hyperboles, assimilées à des droites pour une distance d'observation suffisamment grande.

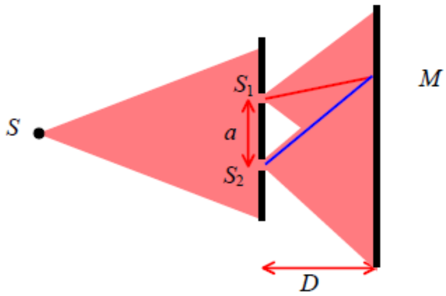
Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young

Description du dispositif

Deux trous S_1 et S_2 identiques et de très petite dimension sont percés dans un écran opaque et distants de a.

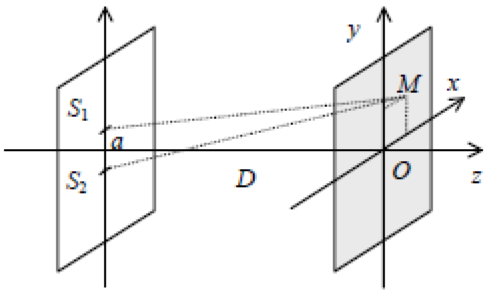
Eclairés par une source ponctuelle S, placée à la même distance de chacun d'entre eux, monochromatique de longueur d'onde λ, ils se comportent donc comme deux sources secondaires cohérentes. La lumière incidente est diffractée par chacun d'eux et les ondes réémises se superposent dans toute une partie de l'espace.

L'observation se fait sur un écran parallèle à S_1S_2 placé à une distance D.



On parle dans ce cas **d'interférences non localisées**, car elles existent dans tout le domaine de l'espace où les ondes issues de S_1 et S_2 se superposent

Source à distance finie et observation à grande distance finie :



On pose : $D \gg a, |x|, |y| \gg \lambda$

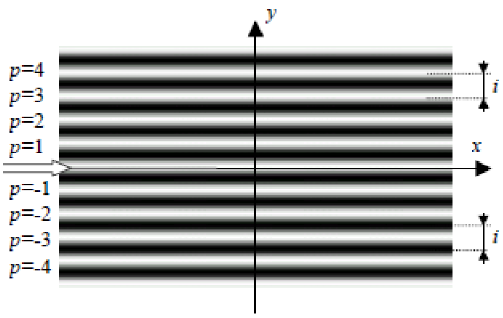
La différence de marche se met sous la forme :

$$\delta(M)=n(S_2M-S_1M)\approx n\frac{ay}{D}$$

La répartition de l'intensité lumineuse sur l'écran peut alors se mettre sous la forme : $I(M)=2I_0\left(1+\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\frac{nay}{D}\right)\right)$

La période, i, de la fonction est appelée l'interfrange :

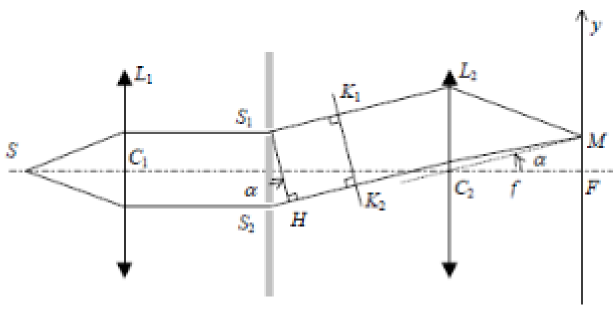
$$i=\frac{\lambda D}{a} \quad \Rightarrow \quad I(M)=2I_0\left(1+\cos\left(\frac{2\pi y}{i}\right)\right)$$



L'éclairement ne dépend que de la seule coordonnée y : les franges d'interférences sont donc des segments de droites parallèles à l'axe des x donc perpendiculaires à S_1S_2.

Source à distance finie et observation à l'infini :

On ajoute une première lentille convergente L_1 au dispositif telle que la source S se trouve en son foyer objet. Alors les trous sont éclairés en lumière parallèle et les rayons émergeant des trous sont aussi parallèles. Pour pouvoir se ramener à une distance finie, on place une seconde lentille convergente L_2 telle que l'écran se trouve en son plan focal image. Alors : $\delta(M)\approx n\frac{ay}{f}$



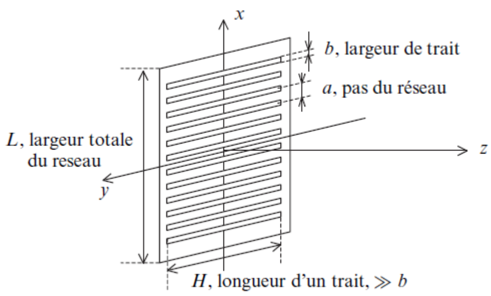
Superposition de N ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles

Réseau de diffraction

Un **réseau** est constitué par la répétition périodique d'un motif diffractant, comme par exemple une fente. La période spatiale est appelée **pas du réseau**.

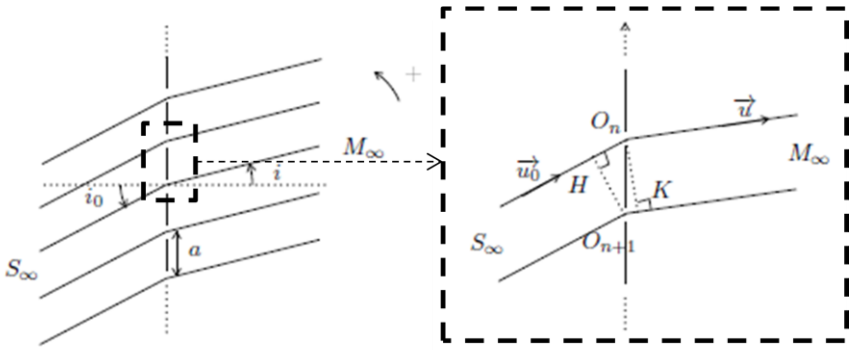
Le réseau par transmission le plus simple est un plan opaque percé de N fentes fines et longues, appelées **traits du réseau**, parallèles entre elles et équidistantes de a, le pas du réseau.

Le pas du réseau est souvent donné en nombre de traits par millimètre : $n = 1/a$.



Formule des réseaux par transmission

On suppose le réseau éclairé par une source monochromatique, de longueur d'onde λ. Les rayons éclairent le réseau sont issus d'une même source et sont donc cohérents entre eux. Ainsi, l'amplitude diffractée par le réseau à l'infini résulte des interférences entre les rayons issus de tous les motifs éclairés : on parle **d'interférences à N ondes**.



Pour que la lumière diffractée dans une direction i soit observable, il faut que les interférences entre les ondes issues de deux motifs successifs soient constructives.

On obtient donc la **formule des réseaux**, qui nous donne la valeur de l'angle d'émergence, i_p, du réseau pour une frange brillante en fonction de l'angle d'incidence, i_0, et de l'ordre d'interférence p entier :

$$a\left(\sin i_p - \sin i_0\right) = p\lambda \quad p \in \mathbb{Z} \qquad (5)$$

Dispersion d'un réseau

Le réseau est dispersif. On va ainsi parler de "la raie d'ordre p" afin de distinguer les différentes raies observées correspondant aux différentes valeurs de p. Ce sont les plus grands longueurs d'onde qui sont le plus déviées.