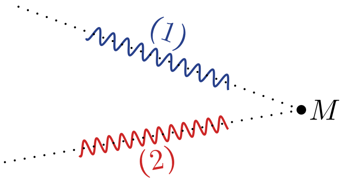
Optique

Superposition d'ondes lumineuses

PC Lycée Dupuy de Lôme



Le récepteur en M reçoit cette fois deux ondes lumineuses

$$s_1(M,t) = S_1.cos\left(\omega_1.t - \varphi_1\right)$$

$$s_2(M,t) = S_2.cos\left(\omega_2.t - \varphi_2\right)$$

Valeur moyenne de l'intensité résultante en M

$$\begin{aligned}
\left\langle\left[s\left(M,t\right)\right]^2\right\rangle &= \left\langle\left[s_1(M,t)+s_2(M,t)\right]^2\right\rangle \\
&= \left\langle\left[S_1.cos\left(\omega_1.t-\varphi_1\right)\right]^2\right\rangle \\
&= \left\langle S_1^2.cos^2\left(\omega_1.t-\varphi_1\right)+S_2^2.cos^2\left(\omega_2.t-\varphi_2\right)\right\rangle \\
&+2.S_1.S_2.\left\langle cos\left(\omega_1.t-\varphi_1\right).cos\left(\omega_2.t-\varphi_2\right)\right\rangle
\end{aligned}$$

Avec :

Valeur moyenne de l'intensité résultante en M

$$\begin{aligned}\left\langle [s(M,t)]^2 \right\rangle &= \left\langle [s_1(M,t) + s_2(M,t)]^2 \right\rangle \\ &= \left\langle [S_1.cos(\omega_1.t - \varphi_1)]^2 \right\rangle \\ &= \left\langle S_1^2.cos^2(\omega_1.t - \varphi_1) + S_2^2.cos^2(\omega_2.t - \varphi_2) \right\rangle \\ &+2.S_1.S_2.\left\langle cos(\omega_1.t - \varphi_1).cos(\omega_2.t - \varphi_2) \right\rangle\end{aligned}$$

Avec :

$$\left\langle cos^2(\omega_1.t - \varphi_1) \right\rangle = \left\langle cos^2(\omega_2.t - \varphi_2) \right\rangle = \frac{1}{2}$$

Valeur moyenne de l'intensité résultante en M

$$\begin{aligned}\left\langle [s\,(M,t)]^2 \right\rangle &= \left\langle [s_1(M,t) + s_2(M,t)]^2 \right\rangle \\ &= \left\langle [S_1.cos\,(\omega_1.t - \varphi_1)]^2 \right\rangle \\ &= \frac{S_1^2}{2} + \frac{S_2^2}{2} \\ &+2.S_1.S_2.\left\langle cos\,(\omega_1.t - \varphi_1)\,.cos\,(\omega_2.t - \varphi_2)\right\rangle\end{aligned}$$

Avec :

$$\left\langle cos^2\,(\omega_1.t - \varphi_1) \right\rangle = \left\langle cos^2\,(\omega_2.t - \varphi_2) \right\rangle = \frac{1}{2}$$

Valeur moyenne de l'intensité résultante en M

$$\begin{aligned}\left\langle [s(M,t)]^2 \right\rangle &= \left\langle [s_1(M,t) + s_2(M,t)]^2 \right\rangle \\ &= \left\langle [S_1.cos(\omega_1.t - \varphi_1)]^2 \right\rangle \\ &= \frac{S_1^2}{2} + \frac{S_2^2}{2} \\ &+2.S_1.S_2.\left\langle cos(\omega_1.t - \varphi_1).cos(\omega_2.t - \varphi_2) \right\rangle\end{aligned}$$

Avec :

$cos(\omega_1.t - \varphi_1).cos(\omega_2.t - \varphi_2) =$
$\frac{1}{2}.cos((\omega_1 + \omega_2).t - [\varphi_1 + \varphi_2]) + \frac{1}{2}.cos((\omega_1 - \omega_2).t + [\varphi_2 - \varphi_1])$

Valeur moyenne de l'intensité résultante en M

$$\begin{aligned}\left\langle [s(M,t)]^2 \right\rangle &= \left\langle [s_1(M,t) + s_2(M,t)]^2 \right\rangle \\ &= \left\langle [S_1.cos(\omega_1.t - \varphi_1)]^2 \right\rangle \\ &= \frac{S_1^2}{2} + \frac{S_2^2}{2} \\ &+2.S_1.S_2.\left\langle \frac{1}{2}.cos((\omega_1+\omega_2).t - \varphi_1 - \varphi_2) + \frac{1}{2}.cos((\omega_1-\omega_2).t + [\varphi_2 - \varphi_1]) \right\rangle\end{aligned}$$

Avec :

$cos(\omega_1.t - \varphi_1).cos(\omega_2.t - \varphi_2) =$
$\frac{1}{2}.cos((\omega_1+\omega_2).t - [\varphi_1 + \varphi_2]) + \frac{1}{2}.cos((\omega_1-\omega_2).t + [\varphi_2 - \varphi_1])$

Valeur moyenne de l'intensité résultante en M

$$\begin{aligned}
\left\langle [s(M,t)]^2 \right\rangle &= \left\langle [s_1(M,t) + s_2(M,t)]^2 \right\rangle \\
&= \left\langle [S_1.cos(\omega_1.t - \varphi_1)]^2 \right\rangle \\
&= \frac{S_1^2}{2} + \frac{S_2^2}{2} \\
&+2.S_1.S_2.\left\langle \tfrac{1}{2}.cos\left((\omega_1+\omega_2).t - \varphi_1 - \varphi_2\right) + \tfrac{1}{2}.cos\left((\omega_1-\omega_2).t + [\varphi_2 - \varphi_1]\right) \right\rangle
\end{aligned}$$

Avec :

Valeur moyenne de l'intensité résultante en M

$$\begin{aligned}\left\langle [s(M,t)]^2 \right\rangle &= \left\langle [s_1(M,t) + s_2(M,t)]^2 \right\rangle \\ &= \left\langle [S_1.cos(\omega_1.t - \varphi_1)]^2 \right\rangle \\ &= \frac{S_1^2}{2} + \frac{S_2^2}{2} \\ &+2.S_1.S_2.\left\langle \tfrac{1}{2}.cos\left((\omega_1+\omega_2).t - \varphi_1 - \varphi_2\right) + \tfrac{1}{2}.cos\left((\omega_1-\omega_2).t + [\varphi_2 - \varphi_1]\right) \right\rangle\end{aligned}$$

Avec :

$\langle cos\left((\omega_1+\omega_2).t - [\varphi_1+\varphi_2]\right)\rangle = 0$

Valeur moyenne de l'intensité résultante en M

$$\begin{aligned}\left\langle\left[s\left(M,t\right)\right]^2\right\rangle &= \left\langle\left[s_1(M,t)+s_2(M,t)\right]^2\right\rangle\\ &= \left\langle\left[S_1.cos\left(\omega_1.t-\varphi_1\right)\right]^2\right\rangle\\ &= \frac{S_1^2}{2}+\frac{S_2^2}{2}\\ &+2.S_1.S_2.\left\langle\frac{1}{2}.cos\left(\left(\omega_1-\omega_2\right).t+\left[\varphi_2-\varphi_1\right]\right)\right\rangle\end{aligned}$$

Avec :

$\left\langle cos\left(\left(\omega_1+\omega_2\right).t-\left[\varphi_1+\varphi_2\right]\right)\right\rangle = 0$

Valeur moyenne de l'intensité résultante en M

$$\begin{aligned}\left\langle [s(M,t)]^2 \right\rangle &= \left\langle [s_1(M,t) + s_2(M,t)]^2 \right\rangle \\ &= \left\langle [S_1.cos(\omega_1.t - \varphi_1)]^2 \right\rangle \\ &= \frac{S_1^2}{2} + \frac{S_2^2}{2} \\ &+2.S_1.S_2.\left\langle \frac{1}{2}.cos\left((\omega_1 - \omega_2).t + [\varphi_2 - \varphi_1]\right)\right\rangle\end{aligned}$$

Avec :

$$\left\langle cos\left((\omega_1 - \omega_2).t + [\varphi_2 - \varphi_1]\right)\right\rangle = ??$$

Les pulsations sont identiques

$$\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} = 0$$

$$\langle cos\left(\left(\omega_1 - \omega_2\right) + \left[\varphi_2 - \varphi_1\right]\right)\rangle = \langle cos\left[\varphi_2 - \varphi_1\right]\rangle$$

Sources cohérentes

Deux sources sont dites cohérentes si les ondes émises ont même pulsation **et** que le déphasage entre ces deux ondes au niveau des sources est indépendant du temps.

- Sources cohérentes : $\left\langle cos\left(\frac{\varphi_2-\varphi_1}{2}\right)\right\rangle = cos\left(\varphi_2 - \varphi_1\right)$
- Sources incohérentes : $\langle cos\left(\varphi_2 - \varphi_1\right)\rangle \equiv 0$

Les pulsations sont différentes

$$\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \neq 0$$

$$\langle cos\left(\left(\omega_1 - \omega_2\right) + \left[\varphi_2 - \varphi_1\right]\right)\rangle = 0$$

Bilan

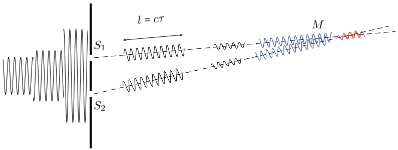
Superposition de deux ondes

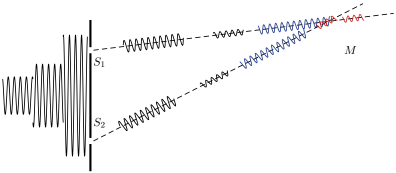
Dans le cas de deux ondes harmoniques, l'intensité mesurée par le récepteur correspond à la somme des intensités mesurées par ce récepteur en présence de chacune des sources prises séparément, avec éventuellement un terme d'interférence dans le cas de sources cohérentes

$$\text{Sources incohérentes } I = I_1 + I_2$$

$$\text{Sources cohérentes } I = I_1 + I_2 + 2.\sqrt{I_1.I_2}.cos\left[\varphi_2 - \varphi_1\right]$$

Formule de Fresnel: $I = I_1 + I_2 + 2.\sqrt{I_1.I_2}.cos\left[\varphi_2 - \varphi_1\right]$

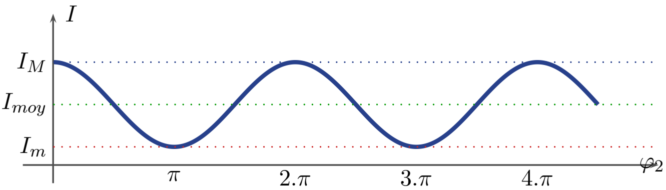




Condition de cohérence

Deux ondes ne pourront être cohérentes en M que si elles sont issues d'un même source et que la différence de marche entre ces deux ondes n'est pas supérieure à la longueur de cohérence de la source.

Le dispositif permettant de créer deux chemins optiques différents entre S et M sera nommé dispositif interférentiel.



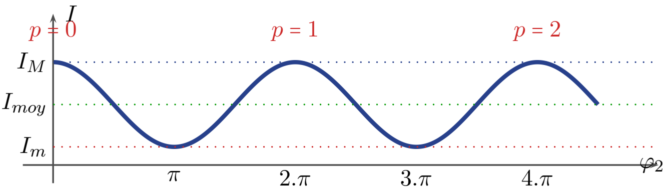
Interférences constructives : $cos\left(\varphi_1 - \varphi_2\right) = +1$,
soit $\left(\varphi_1 - \varphi_2\right) = 2.p.\pi$ avec $p \in \mathcal{Z}$

Ordre d'interférence

On définit l'ordre d'interférence p tel que

$$\left(\varphi_1 - \varphi_2\right) = 2.p.\pi$$

Les interférences constructives correspondent à des valeurs entières de l'ordre d'interférence.



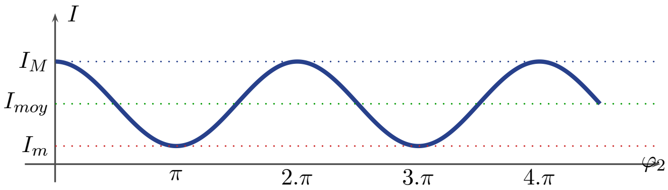
Interférences constructives : $cos\left(\varphi_1 - \varphi_2\right) = +1$,
soit $\left(\varphi_1 - \varphi_2\right) = 2.p.\pi$ avec $p \in \mathcal{Z}$

Ordre d'interférence

On définit l'ordre d'interférence p tel que

$$\left(\varphi_1 - \varphi_2\right) = 2.p.\pi$$

Les interférences constructives correspondent à des valeurs entières de l'ordre d'interférence.



L'intensité mesurée par le récepteur dépendra du déphasage entre les deux ondes

Intensités extrêmes :
$$\left| \begin{array}{l} I_m = I_1 + I_2 - 2.\sqrt{I_1.I_2} \\ I_M = I_1 + I_2 + 2.\sqrt{I_1.I_2} \end{array} \right.$$

Contraste

On définit le facteur de contraste C

$$C = \frac{I_M - I_m}{I_M + I_m}$$

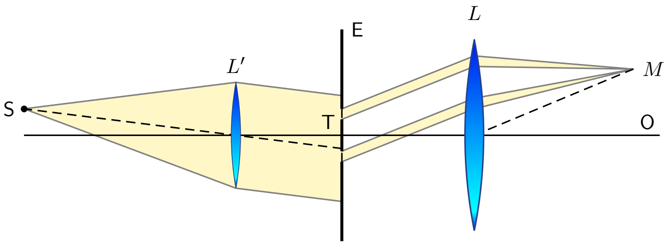
La figure d'interférences sera fortement contrastée si les intensités des

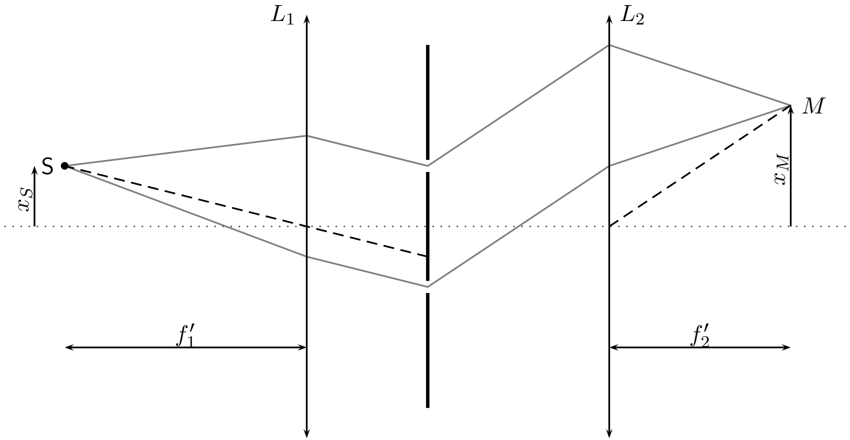
Conditions de Fraünhöfer

L'étude du système interférentiel sera tel que :

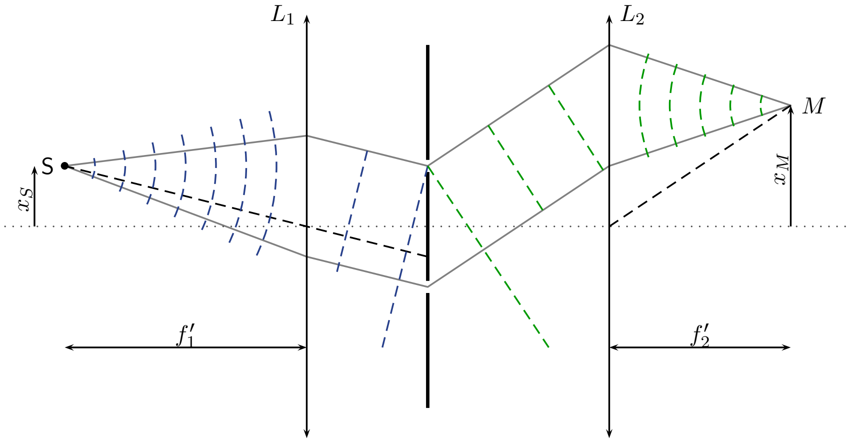
- La source S éclairant le système interférentiel est considérée à l'infini
- Le point d'observation M des interférences sera à l'infini du système interférentiel

Aspect expérimental On pourra se placer dans ces conditions avec le montage suivant

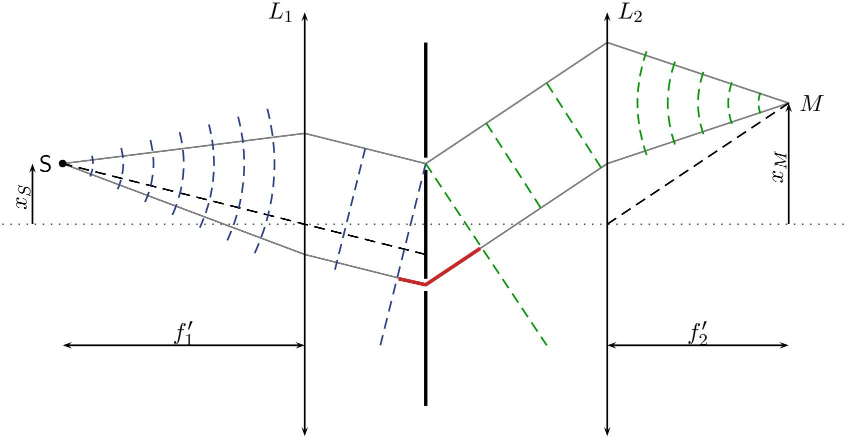




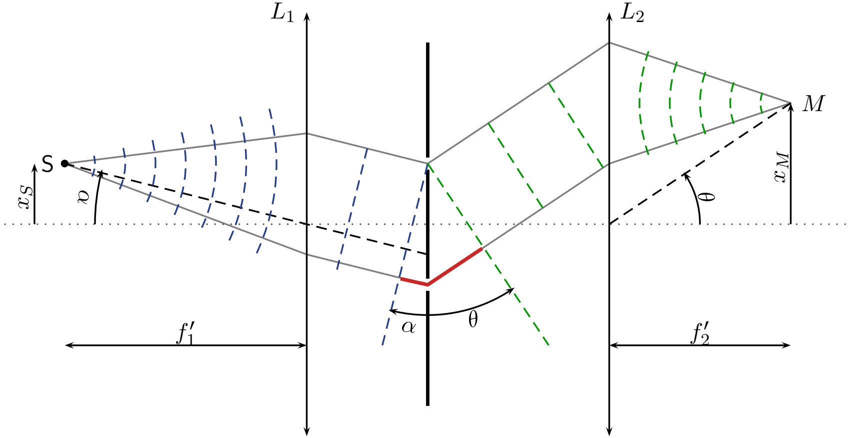
✍ $$\delta = n.a.\left(\frac{x_M}{f'_2} + \frac{x_S}{f'_1}\right)$$



✍ $$\delta = n.a.\left(\frac{x_M}{f'_2} + \frac{x_S}{f'_1}\right)$$



✍ $$\delta = n.a.\left(\frac{x_M}{f'_2} + \frac{x_S}{f'_1}\right)$$



$$\delta = n.a.\left(\frac{x_M}{f_2'} + \frac{x_S}{f_1'}\right)$$

Les applications du phénomène d'interférométrie sont nombreuses :

- Mesures en astronomie
- Mesure des ondes gravitationnelles (projet VIRGO)
- Microscopie par interférométrie