

P4 – Interférences

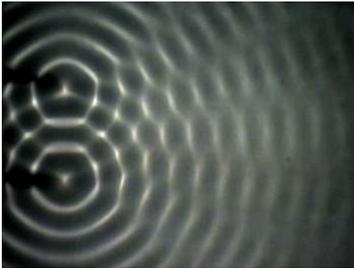
Ondes

« On devait certainement se montrer très surpris de trouver la nuit en plein soleil, dans des points où des rayons de cet astre arrivaient librement ; mais qui se fût imaginé qu'on en viendrait à supposer que l'obscurité pouvait être engendrée en ajoutant de la lumière à de la lumière ! »

François Arago, *Biographie de Thomas Young, Séance publique de l'académie des sciences*, 1832.

I. Observation

1. Ondes capillaires

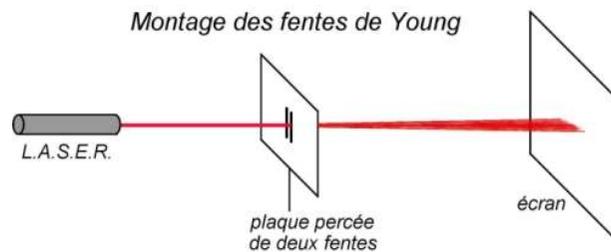


L'amplitude des ondes est plus grande dans certaines directions.

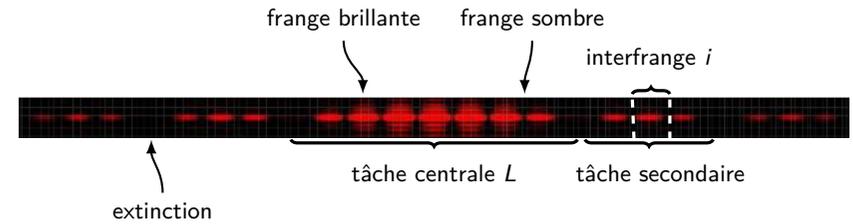
L'amplitude des ondes s'annule dans d'autres directions.

Interférences de deux ondes circulaires dans une cuve à ondes

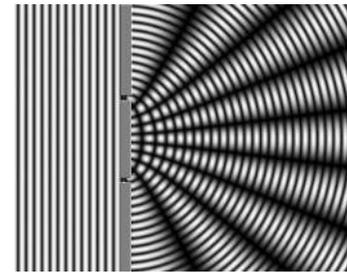
2. Lumière monochromatique



On éclaire deux fentes rapprochées avec un faisceau LASER au lieu d'une seule.



On observe les tâches de diffraction, mais elles sont divisées par une alternance de franges sombres et claires, c'est le phénomène d'interférence.



Interférences de deux sources lumineuses et observation sur un écran

Les franges sombres sont les directions dans lesquelles les amplitudes s'annulent.

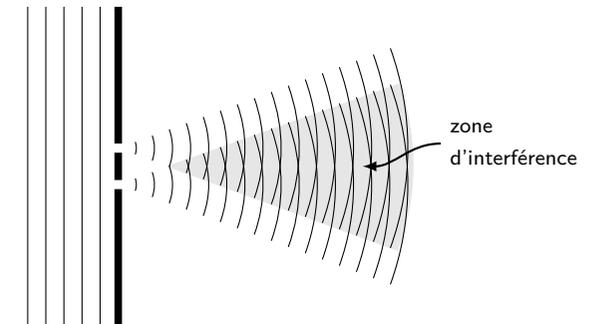
Le phénomène est identique pour les ondes mécaniques et les ondes électromagnétiques.

II. Superposition des ondes

1. Superposition de deux ondes

Chaque fente, ou trou diffracte l'onde plane incidente.

Les deux ondes diffractées se recouvrent partiellement dans la zone d'interférence.



L'amplitude de l'onde résultante est la somme des amplitudes des ondes qui interfèrent :

$$A(x, t) = A_1(x, t) + A_2(x, t)$$

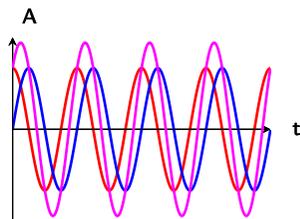
Ex. 3 p. 100 : croisement d'ondes

Superposition de deux ondes planes sinusoïdales de même longueur d'onde

$$A = A_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t\right) + A_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t + \phi_0\right)$$

$$A = 2A_0 \cos\frac{\phi_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t + \frac{\phi_0}{2}\right)$$

$$A = A'_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t + \phi'_0\right)$$



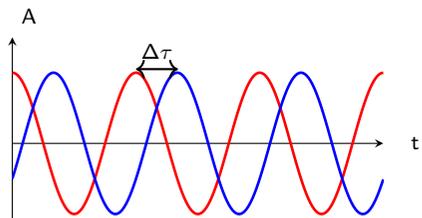
La superposition de deux ondes planes sinusoïdales de même longueur d'onde λ est une onde sinusoïdale de longueur d'onde λ .

2. Déphasage

Pour deux ondes sinusoïdales dont la phase à l'origine diffère :

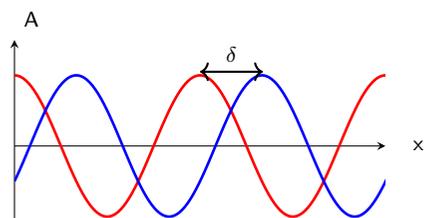
$$A_1(x, t) = A_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t + \phi_1\right) \quad A_2(x, t) = A_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t + \phi_2\right)$$

Le déphasage $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ est l'angle (rad) qui représente le décalage spatio-temporel entre ces deux ondes sinusoïdales.



On peut l'exprimer en fonction du décalage temporel $\Delta\tau$:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{T} \Delta\tau$$

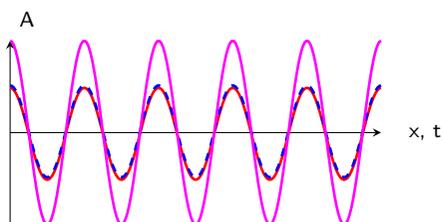


mais aussi en fonction de la différence de marche δ :

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta$$

3. Interférences constructives

Lorsque deux ondes sont en phase, $\Delta\phi = 2k\pi$, les amplitudes s'additionnent, on parle d'interférences constructives.



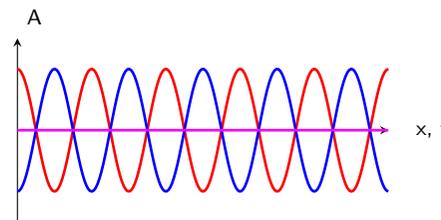
Pour une interférence constructive la différence de marche doit être un multiple de la longueur d'onde, ou le décalage temporel un multiple de la période :

$$\delta = k\lambda \quad \left| \begin{array}{l} \delta : \text{différence de marche (m)} \\ k : \text{entier (} k \in \mathbb{Z} \text{)} \\ \lambda : \text{Longueur d'onde (m)} \end{array} \right.$$

$$\Delta\tau = kT \quad \left| \begin{array}{l} \Delta\tau : \text{Décalage temporel (s)} \\ k : \text{entier (} k \in \mathbb{Z} \text{)} \\ T : \text{Période (s)} \end{array} \right.$$

4. Interférences destructives

Lorsque les deux ondes sont en opposition de phase, $\Delta\phi = (2k + 1)\pi$, les amplitudes s'annulent, on parle alors d'interférences destructives.



Pour une interférence destructive la différence de marche doit être un multiple impair de la demi longueur d'onde, ou le décalage temporel un multiple impair de la demi période :

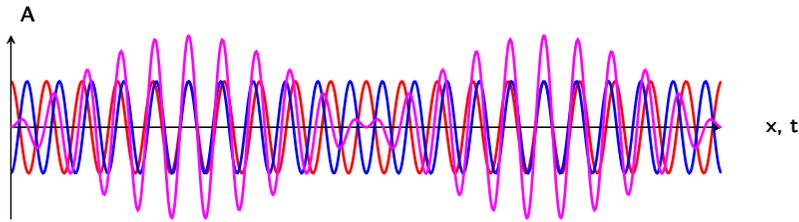
$$\delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad \left| \begin{array}{l} \delta : \text{différence de marche (m)} \\ k : \text{entier (} k \in \mathbb{Z} \text{)} \\ \lambda : \text{Longueur d'onde (m)} \end{array} \right.$$

$$\Delta\tau = (2k + 1) \frac{T}{2} \quad \left| \begin{array}{l} \Delta\tau : \text{Décalage temporel (s)} \\ k : \text{entier (} k \in \mathbb{Z} \text{)} \\ T : \text{Période (s)} \end{array} \right.$$

5. Notion de cohérence

Soient deux ondes sinusoïdales en opposition de phase à l'origine mais de longueur d'onde (et fréquences) différentes :

$$A_1(x, t) = A_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_1}x - \frac{2\pi}{T_1}t\right) \quad A_2(x, t) = A_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_2}x - \frac{2\pi}{T_2}t - \pi\right)$$



- Lors de la superposition des ondes, l'amplitude ne s'annule pas partout.
- En moyenne l'amplitude totale ne s'annule pas, il n'y a pas d'interférence.
- Les deux ondes sinusoïdales sont incohérentes.

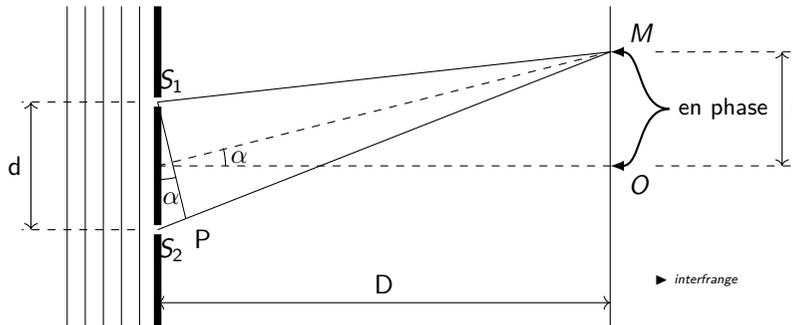
Conclusion

Pour être cohérentes des ondes sinusoïdales doivent avoir la même fréquence et la même longueur d'onde.

Ex. 4 p. 100 : conditions d'interférences

III. Interfrange

1. Calcul de l'interfrange



Interférences constructives

- Différence de marche : $\delta = S_2M - S_1M = S_2P + PM - S_1M = S_2P$.
- Les deux ondes issues de S_1 et S_2 sont en phase en O car elles ont parcourues le même chemin ($S_1O = S_2O$).
- Les deux ondes issues de S_1 et S_2 sont en phase en M si $\delta = S_2P = \lambda$.

Approximations pour $D \gg d$

- $\sin \alpha \approx \frac{S_2P}{S_1S_2} = \frac{\delta}{d}$
- $\sin \alpha \approx \alpha$
- $\tan \alpha \approx \alpha$

$$\sin \alpha \approx \alpha \approx \frac{S_2P}{S_1S_2} = \frac{\delta}{d} \quad \text{et} \quad \delta = \lambda \quad \text{d'où} \quad \alpha = \frac{\lambda}{d}$$

$$\tan \alpha \approx \alpha = \frac{OM}{D} = \frac{i}{D} \quad \text{et} \quad \alpha = \frac{\lambda}{a} \quad \text{d'où} \quad \alpha = \frac{i}{D} = \frac{\lambda}{d}$$

$$i = \frac{\lambda D}{d}$$

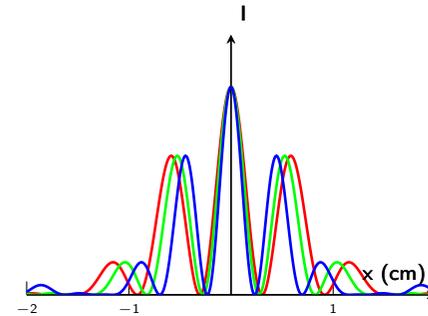
- i : interfrange (m)
- λ : longueur d'onde (m)
- D : distance source - écran (m)
- d : distance entre les fentes sources (m)

Remarques

- La formule n'est valable que si $D \gg d$.
- Si λ ou D augmente, i augmente.
- Si d augmente, i diminue.

2. Lumière blanche

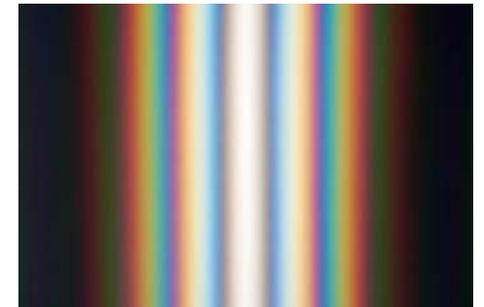
En lumière blanche, l'interfrange est différent pour chaque longueur d'onde et donc pour chaque couleur.



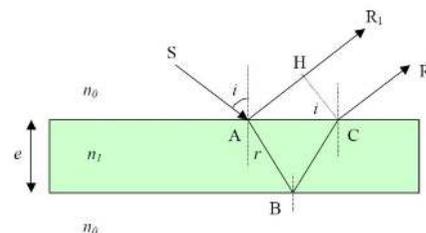
$a = 70 \mu\text{m}$, $d = 100 \mu\text{m}$, $D = 2 \text{ m}$
 $\lambda_R = 611 \text{ nm}$, $\lambda_V = 549 \text{ nm}$, $\lambda_B = 464 \text{ nm}$

Les franges se décalent et ne se superposent plus.

La lumière blanche est décomposée.



3. Couche mince



- La différence de marche entre les rayons réfléchis dépend de i et de e .
- La réflexion d'une couleur (longueur d'onde) dépend de i et de e .
- Une couleur n'est réfléchi que pour certaines directions, c'est le phénomène d'iridescence.