

# Optique Ondulatoire

## Définition

L'optique physique ou optique ondulatoire est la discipline qui étudie la lumière en la considérant comme étant une onde électromagnétique et s'intéresse plus particulièrement aux phénomènes affectant les ondes, comme les interférences et la diffraction.

# Optique Ondulatoire

## Définition

L'optique physique ou optique ondulatoire est la discipline qui étudie la lumière en la considérant comme étant une onde électromagnétique et s'intéresse plus particulièrement aux phénomènes affectant les ondes, comme les interférences et la diffraction.

Si deux ondes ou plus de même fréquence se chevauchent en un point, l'effet dépendra des phases aussi bien que des amplitudes des OEM.

# Optique Ondulatoire

## Interférences

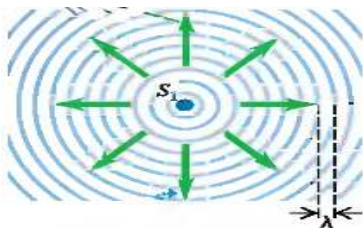
Il y a interférence quand deux ondes ou plus se chevauchent. Et l'onde résultante en tout point et à tout instant est gouvernée par le principe de superposition.

# Optique Ondulatoire

## Interférences

Il y a interférence quand deux ondes ou plus se chevauchent. Et l'onde résultante en tout point et à tout instant est gouvernée par le principe de superposition.

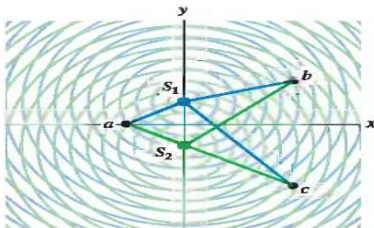
L'onde stationnaire est un exemple d'interférence, mais les ondes lumineuses peuvent se propager en deux ou trois dimensions.



**FIGURE:** Source d'ondes sinusoïdales.

## Interférences constructives et destructives

Soient deux sources d'ondes monochromatiques,  $S_1$  et  $S_2$ , produisant des ondes de même fréquence et de même amplitude. Les deux sources sont de même phase (deux antennes radios émettant d'un même transmetteur, deux haut-parleurs d'un même amplificateur...). Deux sources monochromatiques de même fréquence et avec une relation de phase définie, constant (pas nécessairement en phase) sont censés être cohérent.



## Interférences constructives et destructives

### Interférences constructives

Quand des ondes issues de deux sources, ou plus, arrivent à un point **en phase**, l'amplitude de l'onde résultante est la somme des amplitudes des ondes. C'est l'**interférence constructive**.  $r_2 - r_1 = m\lambda$  avec  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

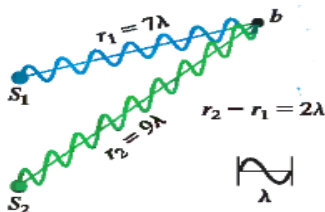
### Interférences destructives

Les ondes provenant des deux sources arrivent au point c exactement un demi-cycle **en opposition de phase**. L'amplitude résultante est la différence entre les deux amplitudes individuelles.  $r_2 - r_1 = (m + \frac{1}{2})\lambda$  avec  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

## Interférences constructives et destructives

### Interférences constructives

Soit la distance de  $S_1$  à un point quelconque  $P$  est  $r_1$  et la distance de  $S_2$  à  $P$  est  $r_2$ . Pour avoir une interférence constructive en  $P$ , la différence des distances doit être un multiple de  $\lambda$ .

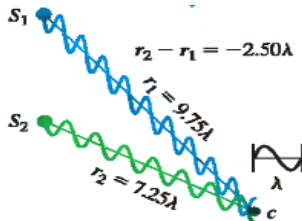


**FIGURE:** Interférences constructives

## Interférences constructives et destructives

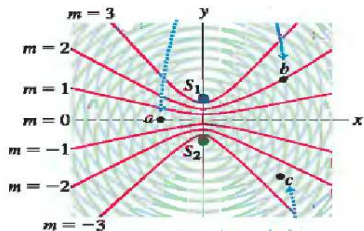
### Interférences destructives

Les ondes provenant des deux sources arrivent au point c exactement un demi-cycle en opposition de phase. la crête d'une onde arrive en même temps qu'un creux d'une autre onde.



**FIGURE:** Interférences destructives





**FIGURE:** Interférences

Les courbes de couleur rouge représentent tous les points où l'interférence est constructive. Ces courbes sont appelées courbes antinodaux. Les points  $a$  et  $b$  sont des interférences constructives,



## Exemples

- 1 Deux sources électromagnétiques (Antennes radio) distantes de 5 mètres entre elles. Chaque source émet à une longueur d'onde de  $06\text{ m}$ . À quelle distance, s'il y en a, les interférences sont elles ; constructives, destructives ? Nous nous limitons, ici, aux points situés entre les deux sources.

## Exemples

- 1 Deux sources électromagnétiques (Antennes radio) distantes de 5 mètres entre elles. Chaque source émet à une longueur d'onde de  $06\text{ m}$ . À quelle distance, s'il y en a, les interférences sont elles ; constructives, destructives ? Nous nous limitons, ici, aux points situés entre les deux sources. (*au point  $r_1 = r_2 = 2.5\text{m}$  const. ; et  $r_1 = 1\text{m}$  et  $r_1 = 4\text{m}$  dest.*)
- 2 Deux antennes qui émettent en phase, et dont l'antenne  $B$  est à  $120\text{ m}$  à droite de l'antenne  $A$ . Soit le point  $Q$  le long de la droite qui relie les antennes et à une distance horizontale de  $40\text{ m}$  à droite de l'antenne  $B$ . La fréquence et donc la longueur d'onde des ondes peuvent varier. (a). Quelle est la plus grande longueur d'onde qui permet d'avoir une interférence destructive au point  $Q$ . (b). Et pour une interférence constructive ?

## Exemples

- 1 Deux sources électromagnétiques (Antennes radio) distantes de 5 mètres entre elles. Chaque source émet à une longueur d'onde de  $06\text{ m}$ . À quelle distance, s'il y en a, les interférences sont elles ; constructives, destructives ? Nous nous limitons, ici, aux points situés entre les deux sources. (*au point  $r_1 = r_2 = 2.5\text{m}$  const. ; et  $r_1 = 1\text{ m}$  et  $r_1 = 4\text{m}$  dest.*)
- 2 Deux antennes qui émettent en phase, et dont l'antenne  $B$  est à  $120\text{ m}$  à droite de l'antenne  $A$ . Soit le point  $Q$  le long de la droite qui relie les antennes et à une distance horizontale de  $40\text{ m}$  à droite de l'antenne  $B$ . La fréquence et donc la longueur d'onde des ondes peuvent varier. (a). Quelle est la plus grande longueur d'onde qui permet d'avoir une interférence destructive au point  $Q$ . (b). Et pour une interférence constructive ? (*a.  $\lambda = 240\text{m}$ ; b.  $\lambda = 120\text{m}$* )

## Fentes de Young

### Deux sources cohérentes de lumière

Il est possible d'obtenir deux sources cohérentes de lumière, en divisant une source de lumière en deux sources (ou plus) secondaires de même phase.

## Fentes de Young

### Deux sources cohérentes de lumière

Il est possible d'obtenir deux sources cohérentes de lumière, en divisant une source de lumière en deux sources (ou plus) secondaires de même phase.

L'expérience de l'anglais Thomas Young en 1800, est une des expériences qui a révélé l'existence des interférences lumineuses.

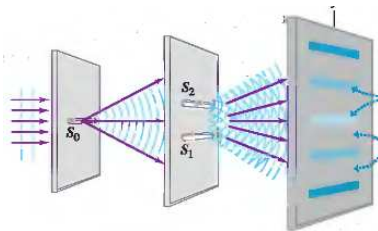
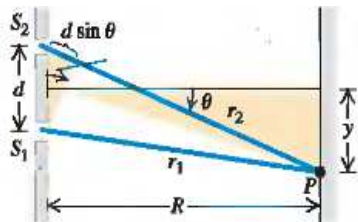


FIGURE: Fentes de Young

## Fentes de Young



## Interférences de deux sources de lumière

La distance  $R$  est plus importante que la distance séparant les deux fentes  $d$ . Ce qui est le cas dans la pratique ;  $d \sim \text{qlq mm}$  et  $R \sim \text{qlq m}$ .

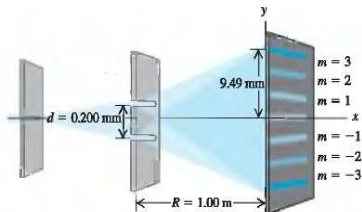
$$r_2 - r_1 = d \sin \theta \quad (34)$$



# Fentes de Young

## Exemple

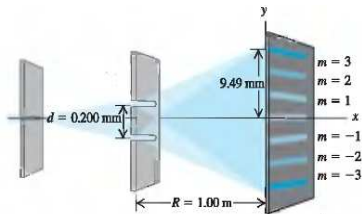
- 1 Pour mesurer la longueur d'onde de la lumière, utilisons deux fentes distantes l'une de l'autre de  $0.2 \text{ mm}$  et la projection des interférences est à  $1.0 \text{ m}$ . La troisième frange lumineuse ( la frange centrale n'est pas prise en compte  $m = 0$ ) est située à  $9.49 \text{ mm}$  de la frange centrale.



# Fentes de Young

## Exemple

- 1 Pour mesurer la longueur d'onde de la lumière, utilisons deux fentes distantes l'une de l'autre de  $0.2 \text{ mm}$  et la projection des interférences est à  $1.0 \text{ m}$ . La troisième frange lumineuse ( la frange centrale n'est pas prise en compte  $m = 0$ ) est située à  $9.49 \text{ mm}$  de la frange centrale.



$$\lambda = 633 \text{ nm}$$

## Fentes de Young

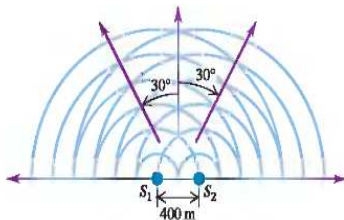
### Exemple

- 1 Une station radio émet à une fréquence de  $1500 \text{ kHz}$  ayant deux antennes identiques distantes de  $400 \text{ m}$ , oscillant en phase. Pour des distances supérieures à  $400 \text{ m}$ , dans quelles directions a t'on des intensités maximales.

# Fentes de Young

## Exemple

- 1 Une station radio émet à une fréquence de  $1500 \text{ kHz}$  ayant deux antennes identiques distantes de  $400 \text{ m}$ , oscillant en phase. Pour des distances supérieures à  $400 \text{ m}$ , dans quelles directions a t'on des intensités maximales.



## Intensité et amplitude lors d'interférences

### Amplitude

L'amplitude issue de l'interférence de deux champs électriques est la somme de deux vecteurs :

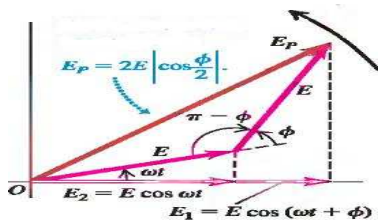
## Intensité et amplitude lors d'interférences

### Amplitude

L'amplitude issue de l'interférence de deux champs électriques est la somme de deux vecteurs :

$$E_p^2 = E^2 + E^2 - 2E^2 \cos(\pi - \Phi)$$

$$E_p = 2E \left| \cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) \right| \quad (35)$$



## Intensité et amplitude lors d'interférences

### Intensité

On remplace  $E_0$  par  $E_p$ , pour trouver la relation de l'intensité au point  $P$  d'une interférence ;

## Intensité et amplitude lors d'interférences

### Intensité

On remplace  $E_0$  par  $E_p$ , pour trouver la relation de l'intensité au point  $P$  d'une interférence ;

$$I = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_p^2$$

$$I = 2 \varepsilon_0 c E^2 \cos^2\left(\frac{\Phi}{2}\right) \quad (36)$$



## Intensité et amplitude lors d'interférences

### Intensité

On remplace  $E_0$  par  $E_p$ , pour trouver la relation de l'intensité au point  $P$  d'une interférence ;

$$I = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_p^2$$

$$I = 2\varepsilon_0 c E^2 \cos^2\left(\frac{\Phi}{2}\right) \quad (36)$$

À une intensité maximale  $I_0 = 2\varepsilon_0 c E^2$ , l'intensité est quatre fois plus importante que celle issue d'une seule source.

## différence de phase lors d'interférences

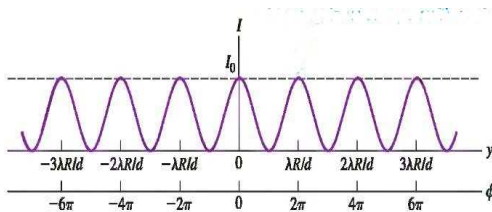
La différence de phase est reliée à la différence  $r_2 - r_1$ . Quand la différence entre les distances est d'une longueur d'onde, on a un cycle  $\Phi = 2\pi$  et quand cette différence est d'une demi longueur d'onde alors on a  $\Phi = \pi$ , de là on peut écrire :

## différence de phase lors d'interférences

La différence de phase est reliée à la différence  $r_2 - r_1$ . Quand la différence entre les distances est d'une longueur d'onde, on a un cycle  $\Phi = 2\pi$  et quand cette différence est d'une demi longueur d'onde alors on a  $\Phi = \pi$ , de là on peut écrire :

$$\frac{\Phi}{2\pi} = \frac{r_2 - r_1}{\lambda}$$

$$\Phi = k(r_2 - r_1) = kd\sin\theta \quad (37)$$



## Exemple

Supposons que deux antennes de radio identiques (voir figure précédente) sont déplacés pour être seulement 10,0 m de distance et la fréquence des ondes rayonnées est porté à  $f = 60,0 \text{ MHz}$ . L'intensité à une distance de 700 m dans la direction de  $+x$  (correspondant à  $\theta = 0$  de la Fig) est  $I_0 = 0,020 \text{ W/m}^2$ . (a) Quelle est l'intensité dans la direction  $\theta = 4^\circ$ ? (b) Dans quelle direction proche de  $\theta = 0$  l'intensité est  $I_0/2$ ? (c) Quelles sont les directions où l'intensité est nulle ?