Chapitre 17 : Interférences

Lorsque deux ondes se rencontrent, leur superposition peut donner lieu à différents phénomènes parmi lesquels le phénomène d'**interférences**.
Il est à l'origine de l'irisation des bulles de savon, des ailes de certains papillons ainsi que de certaines détériorations des signaux radios.

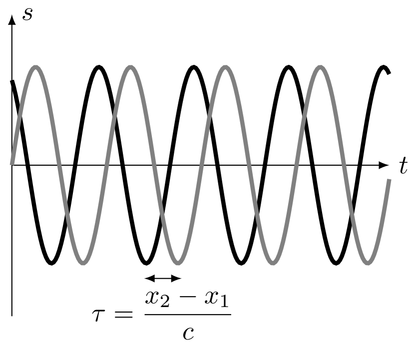
QUESTION

Quelles sont les conséquences de la superposition de deux ondes de même fréquence ?

I - Superposition des ondes

1 Déphasage de l'onde au cours de sa propagation

Au cours de sa propagation, la phase initiale φ de l'onde augmente. On peut représenter deux évolutions temporelles du signal s en deux positions différentes x_1 et x_2 :



Évolution du signal en fonction du temps en deux positions x_1 (noir) et x_2 (gris).

La phase initiale à l'abscisse x est donnée par : $\varphi(x) = \varphi_0 - kx$.

DÉPHASAGE DU SIGNAL ENTRE DEUX ABSCISSES

Les signaux décrivant une onde progressive harmonique se propageant dans le sens des x croissants entre deux abscisses x_1 et x_2 sont déphasés selon l'expression suivante :

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = -k(x_2 - x_1) = -\frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1)$$

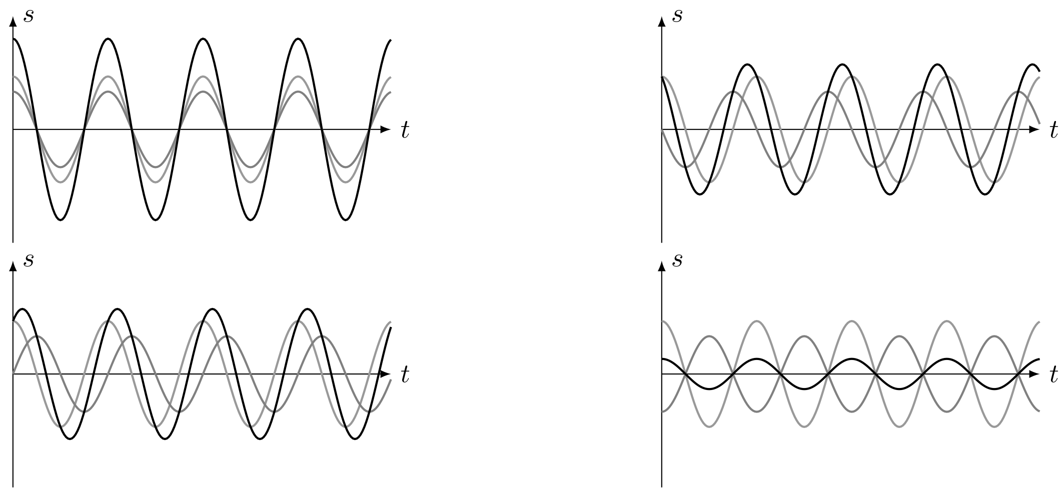
Remarques : On peut retrouver ce résultat en remarquant que le signal en x_2 est en retard par rapport au signal en x_1 de $\tau = \dfrac{x_2 - x_1}{c}$. On peut ainsi traduire ce retard par un retard de phase comme vu lors du chapitre sur les signaux.

PHASE ET OPPOSITION DE PHASE

Deux points en lesquels l'onde est **en phase** sont séparés sur l'axe (Ox) d'une longueur égale à **un multiple de la longueur d'onde**.
Deux points en lesquels l'onde est **en opposition de phase** sont séparés sur l'axe (Ox) d'une longueur égale à **un multiple de la longueur d'onde plus une demi-longueur d'onde**.

2 Somme de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence

Sommons deux signaux s_1 et s_2 de même fréquence et déphasés de $\Delta\varphi$:



Signaux s_1 (en gris foncé), s_2 (en gris clair) et $s_1 + s_2$ (en noir) représentés au cours du temps.

L'amplitude de la somme des deux signaux varie en fonction du déphasage entre les deux signaux. On peut, pour vérifier cela, calculer l'amplitude de cette somme.

Amplitude du signal somme

Le signal résultant de la somme de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence, d'amplitudes respectives A_1 et A_2 et déphasés de $\Delta\varphi$, a pour amplitude :

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\Delta\varphi)}$$

Remarques :

- Cette amplitude n'est pas égale à la somme des amplitudes des deux signaux pris séparément. Ce résultat est contre-intuitif.
- Cette amplitude est **maximale** lorsque le cosinus vaut 1, soit lorsque les signaux sont **en phase**. Elle vaut $A_1 + A_2$ soit l'amplitude attendue *a priori*.
- Cette amplitude est **minimale** lorsque le cosinus vaut -1, soit lorsque les signaux sont en **opposition de phase**. Elle vaut alors $|A_1 - A_2|$.

Application directe n°1

Considérons deux ondes émises par des haut-parleurs reliés à un même générateur. Ainsi, les ondes émises sont de même fréquence. On note v leur vitesse de phase.
Les deux haut-parleurs sont situés sur une même ligne, à une distance $d = 10$ cm l'un de l'autre et ils émettent dans une même direction perpendiculaire à la ligne sus-mentionnée.
Un microphone est situé à une distance L dans cette direction et peut se déplacer sur un rail perpendiculaire.

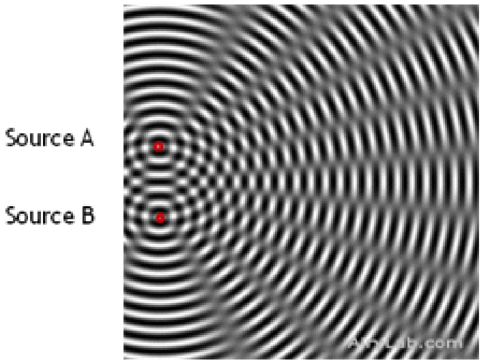
1/ Faire un schéma de la situation.

2/ Exprimer le déphasage entre les deux signaux au niveau du détecteur. On introduira notamment les distances S_1D et S_2D entre les deux sources et le détecteur.

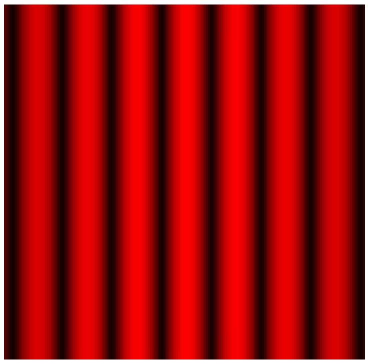
II - Interférences entre deux ondes de même fréquence

Définition

Interférences entre ondes de même fréquence : Lorsque deux ondes de même fréquence se superposent, l'amplitude de l'onde résultante voit son amplitude varier en fonction des points auxquels on la calcule. C'est le phénomène d'interférences.



Interférences entre deux ondes à la surface de l'eau



Figures d'interférences entre deux ondes lumineuses

Conditions d'interférences constructives et destructives

Lorsque l'amplitude de l'onde résultante est maximale, on parle d'**interférences constructives**. C'est le cas si :

$$\Delta\varphi = 2m\pi \quad \text{avec } m \text{ un entier relatif}$$

Lorsque l'amplitude de l'onde résultante est minimale, on parle d'**interférences destructives**. C'est le cas si :

$$\Delta\varphi = (2m+1)\pi \quad \text{avec } m \text{ un entier relatif}$$

III - Interférences lumineuses : Trous d'Young

A Étude des interférences lumineuses

Définition

Intensité lumineuse : Grandeur associée à la capacité d'une source lumineuse à émettre dans une direction donnée.

Les détecteurs usuels ont une fréquence d'acquisition trop faible pour capter les variations du champ électromagnétique.

Ordres de grandeur : $c = 3.10^8$ m/s - $\lambda = 0,6.10^{-6}$ m $\rightarrow$ Période de l'onde :

$$T = \frac{\lambda}{c} = \frac{0,6.10^{-6}}{3.10^8} = 0,2.10^{-14} = 2.10^{-14} \text{ s}$$

Œil : 0,1 s environ - photorécepteur électronique : 10^{-6} s environ.
Ces détecteurs captent donc une moyenne de cette variation.

Expression de l'intensité lumineuse

L'intensité lumineuse est proportionnelle à la moyenne du carré du champ électrique :

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

Cette expression devient, pour une onde monochromatique :

$$\boxed{I(M) = \frac{K}{2}A^2(M)}$$

où $A(M)$ est l'amplitude de l'onde au point M.

Formule de Fresnel

L'intensité résultante de la superposition de deux ondes de même fréquence est donnée par :

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

où I_1 et I_2 sont les intensités des deux ondes prises séparément et $\Delta\varphi$ est le déphasage entre ces deux ondes.

Dans le cas où les deux ondes ont la même intensité I_0, la formule devient :

$$\boxed{I(M) = 2I_0(1+\cos(\Delta\varphi))}$$

Pour des ondes lumineuses, l'expression obtenue à l'application directe 1 devient :

$$\Delta\varphi = \frac{(S_1M - S_2M)2\pi\omega}{v}$$

Rappelons la définition de l'indice optique : $v = \frac{c}{n}$, ainsi, on obtient :

$$\Delta\varphi = \frac{(S_1M - S_2M)2n\pi}{\lambda}$$

> **Définition**
> **Chemin optique** : Soit un milieu transparent d'indice n.
> Le chemin optique entre un point S et un point M est donné par : $(SM) = n \times SM$.

Expression du déphasage

Pour une onde lumineuse, le déphasage est lié à la **différence de chemin optique** δ par la relation :

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

où $\delta = n(S_2M - S_1M)$

Conditions d'interférences constructives et destructives

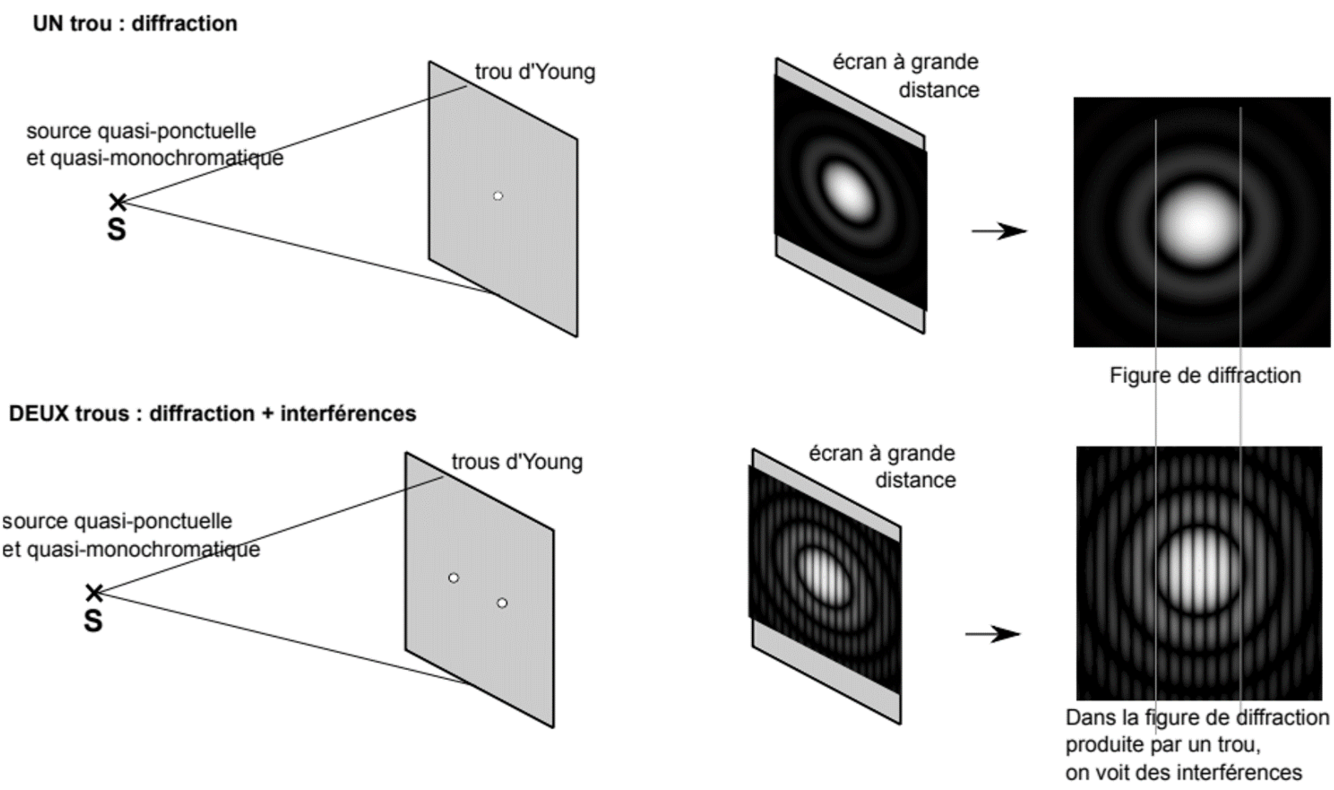
Les interférences sont constructives si si :

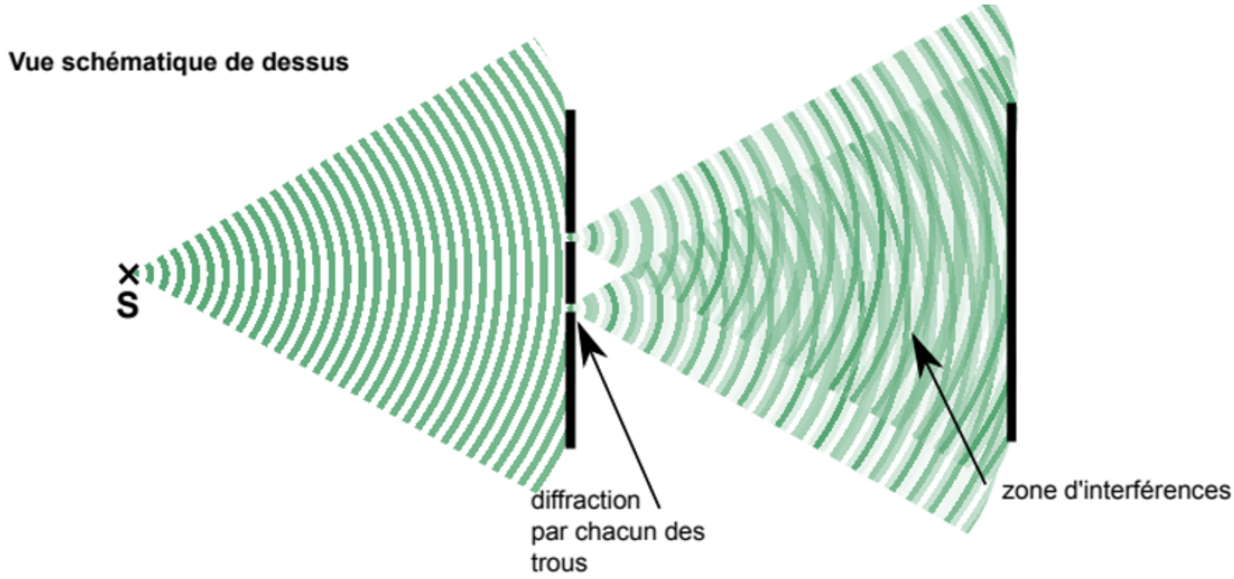
$$\delta(M) = m\lambda \quad \text{avec } m \text{ un entier relatif}$$

Les interférences sont destructives si :

$$\delta(M) = \frac{\lambda}{2} + m\lambda \quad \text{avec } m \text{ un entier relatif}$$

B Présentation du dispositif





C Étude des trous d'Young

APPLICATION DIRECTE N°2

On considère le montage des trous d'Young. L'écran est situé à grande distance $D \gg x, y, z$ et le milieu est de l'air d'indice $n \sim 1$.
La source S est supposée monochromatique (laser rouge He-Ne de longueur d'onde $\lambda = 633$ nm) et ponctuelle. Les trous sont supposés écartés de $a = 0,30$ mm et à distance $D = 2,0$ m de l'écran.
On considère que chaque trou se comporte comme une source éclairant uniformément l'écran avec une intensité I_0.

1/ Donner l'expression de la différence de chemin optique $\delta(M)$ au point M, en fonction de a, x et D. On exploitera le fait que $D \gg x, a$.

2/ En déduire l'expression de l'intensité lumineuse au point M.

3/ Cette intensité est périodique. Donner l'expression de sa période spatiale (aussi appelée interfrange), notée i.

4/ Application numérique pour i.

5/ Comment est modifié l'interfrange si on augmente la distance entre les trous ? Si on augmente la longueur d'onde λ ? Et si on augmente la distance D ?