

Chapitre : Interférence mécanique

Activité 1 : Propagation d'une onde sinusoïdale.

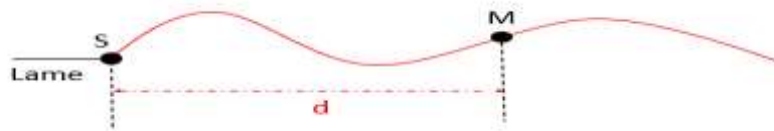
Considérons une corde tendue, fixée à une lame vibrante au point S. un point M de la corde situé à la distance d de la source. L'équation de vibration de la source S est $y_s = a \cos \omega t$.

Consigne :

Etablis l'équation horaire du point M de la corde.

Synthèse :

Equation horaire du point M de la corde :



$$y_M = y_s(t - \theta)$$

Le retard de temps θ , est le temps mis par le signal pour parcourir la distance d : $\theta = \frac{d}{v}$

$$y_M = y_s\left(t - \frac{d}{v}\right) = a \cos \omega \left(t - \frac{d}{v}\right) = a \cos \left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi d}{vT}\right)$$

$$y_M = a \cos \left(\omega t - \frac{2\pi d}{\lambda}\right)$$

Le déphasage est la différence de phase entre deux fonctions sinusoïdales : $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$

Si $\Delta\varphi = 0$ ou $2\pi k$; les fonctions sont en phase.

Si $\Delta\varphi = \pi$ ou $(2k + 1)\pi$; les fonctions sont en opposition de phase.

Si $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$ ou $(2k + 1)\frac{\pi}{2}$; les fonctions sont en quadrature de phase.

Activité 2 : Interférences à la surface de l'eau.

Une fourche munie de deux pointes est fixée à l'une des branches d'un diapason. Les deux pointes trempent légèrement en S_1 et S_2 dans l'eau qui contient une eau.

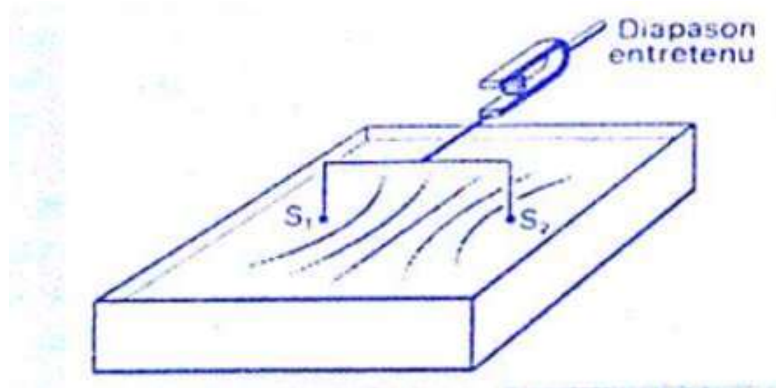
Consigne :

- Qu'observez-vous lorsque le diapason vibre ? Interprétez puis définissez l'interférence mécanique.
- Etablis l'équation de vibration d'un point de la surface de l'eau.

Synthèse :

- Observation :

On observe sur la surface libre du liquide des rides fixes équidistantes sur le segment S_1S_2 et ayant la forme d'arc d'hyperboles de foyers S_1 et S_2 . Ces rides sont appelées franges ou lignes d'interférences. La région où apparaissent les franges est appelée champ d'interférences.



- **Interprétation :**

L'obtention des franges d'interférences résulte de la superposition en un point de deux mouvements vibratoires de même période et de même direction se propageant simultanément à partir des sources S_1 et S_2 .

- **Interférence mécanique :**

On appelle interférence mécanique un phénomène physique résultant de la superposition de plusieurs mouvements vibratoires, de même nature de fréquence identiques ou voisines.

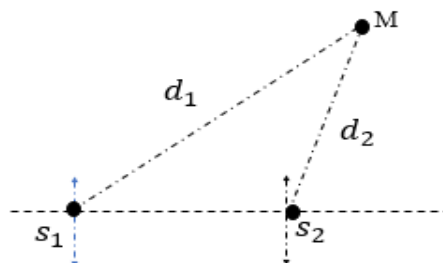
— **Condition :**

Pour avoir un phénomène d'interférence les sources doivent être synchrones (même période) et cohérentes (déphasage ne varie pas).

- **Equation de vibration :**

Soit M un point de la surface de l'eau situé à la distance d_1 de S_1 et à la distance d_2 de S_2 .

L'instant initial $t = 0$, l'élongation des deux sources S_1 et S_2 a pour expression : $y_0 = a \cos(\omega t)$



$$y_1 = a \cos\left(\omega t - \frac{2\pi d_1}{\lambda}\right) \text{ avec } \varphi_1 = -\frac{2\pi d_1}{\lambda}$$

$$y_2 = a \cos\left(\omega t - \frac{2\pi d_2}{\lambda}\right) \text{ avec } \varphi_2 = -\frac{2\pi d_2}{\lambda}$$

$$y_M = y_1 + y_2$$

$$y_M = a \cos\left(\omega t - \frac{2\pi d_1}{\lambda}\right) + a \cos\left(\omega t - \frac{2\pi d_2}{\lambda}\right) = A \cos(\omega t + \phi)$$

L'amplitude A et la phase ϕ seront déterminées par la construction de Fresnel :

Les vecteurs tournants : $\vec{V}_1 \left\{ \begin{matrix} a \\ \varphi_1 \end{matrix} \right.$; $\vec{V}_2 \left\{ \begin{matrix} a \\ \varphi_2 \end{matrix} \right.$; $\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 \left\{ \begin{matrix} A \\ \phi \end{matrix} \right.$

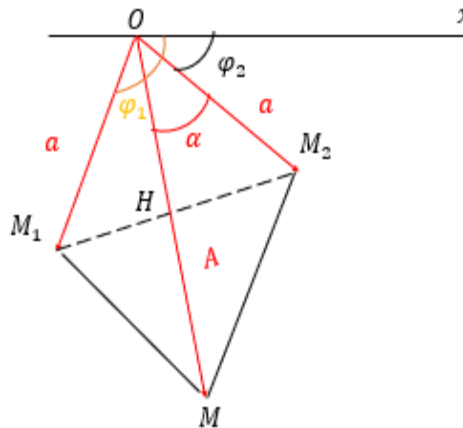
Dans le triangle OHM₂ :

$$\cos \alpha = \frac{\frac{A}{2}}{a} = \frac{A}{2a}$$

$$A = 2a \cos \alpha$$

$$\text{Or } \alpha = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} = \frac{\pi}{\lambda} (d_2 - d_1)$$

$$A = 2a \cos \frac{\pi}{\lambda} (d_2 - d_1)$$



La phase ϕ représente l'angle que fait le vecteur résultant avec l'axe Ox (origine des phases).

$$\phi = \varphi_2 + \alpha = \varphi_2 + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} = \frac{2\varphi_2 + \varphi_1 - \varphi_2}{2}$$

$$\phi = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = -\frac{\pi}{\lambda} (d_1 + d_2)$$

D'où $y_M = 2a \cos \frac{\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) \cos \left[\omega t - \frac{\pi}{\lambda} (d_1 + d_2) \right]$

• **Différence de marche :**

La différence de marche pour une onde passant par deux chemins différents est la différence entre les chemins réellement parcourus. $\delta = d_2 - d_1$

— **Pour les points d'amplitude maximale : ($A = \pm 2a$)**

$$\cos \frac{\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) = \pm 1 \Leftrightarrow \frac{\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) = k\pi \text{ avec } k \in \mathbb{Z}$$

$$d_2 - d_1 = k\lambda$$

Les points d'amplitude maximale constituent une famille d'hyperboles de foyers S_1 et S_2 .

Si $k = 0$, $d_2 = d_1$. Ces points sont situés sur la médiatrice du segment S_1S_2 .

Le nombre de franges est limité :

$$-S_1S_2 \leq d_2 - d_1 \leq S_1S_2 \Rightarrow -\frac{S_1S_2}{\lambda} \leq k \leq \frac{S_1S_2}{\lambda}$$

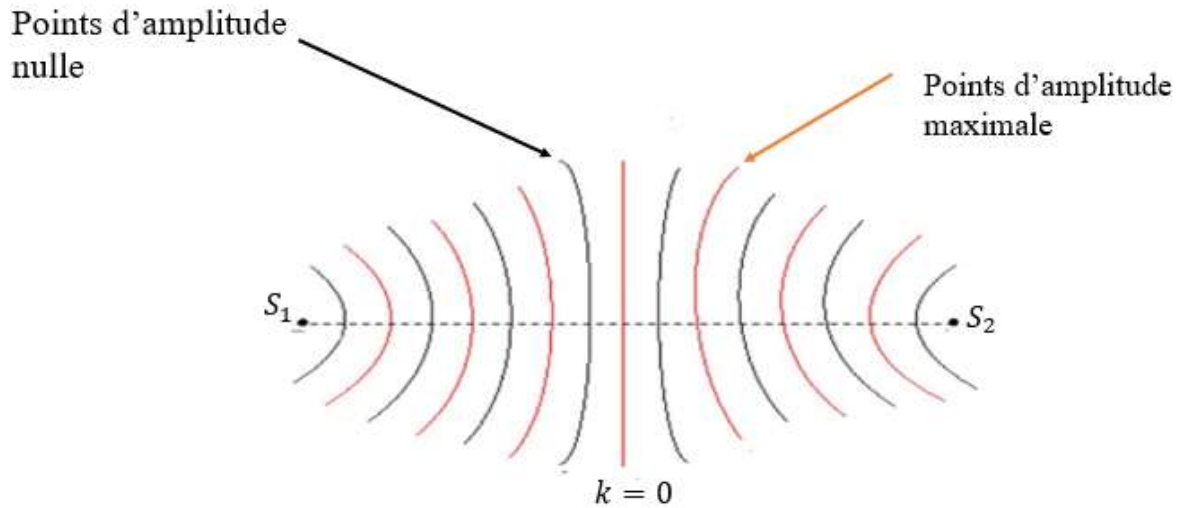
La position des franges sur la droite des sources : $x = k \frac{\lambda}{2}$

— **Pour les points d'amplitude minimale ou nulle (points immobiles) : ($A = 0$)**

$$\cos \frac{\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) = 0 \Leftrightarrow \frac{\pi}{\lambda} (d_2 - d_1) = \frac{\pi}{2} + k\pi \text{ avec } k \in \mathbb{Z}$$

$$d_2 - d_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Si $k = 0$, $d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2}$. Les points immobiles se trouvent sur un réseau d'hyperboles de foyers S_1 et S_2 , intercalés entre les hyperboles d'amplitude maximale.



Le nombre de franges est limité :

$$-S_1 S_2 \leq d_2 - d_1 \leq S_1 S_2 \Rightarrow -\frac{S_1 S_2}{\lambda} - \frac{1}{2} \leq k \leq \frac{S_1 S_2}{\lambda} - \frac{1}{2}$$

La position des franges sur la droite des sources : $x = (2k + 1) \frac{\lambda}{4}$

Interfrange :

L'interfrange est la distance séparant deux franges consécutives de même nature.

$$i = x_{k+1} - x_k$$

$$i = \frac{(k+1)\lambda}{2} - \frac{k\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2} \text{ (Points d'amplitude maximale)}$$

$$i = \frac{(2(k+1)+1)\lambda}{4} - \frac{(2k+1)\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2} \text{ (Points d'amplitude nulle).}$$