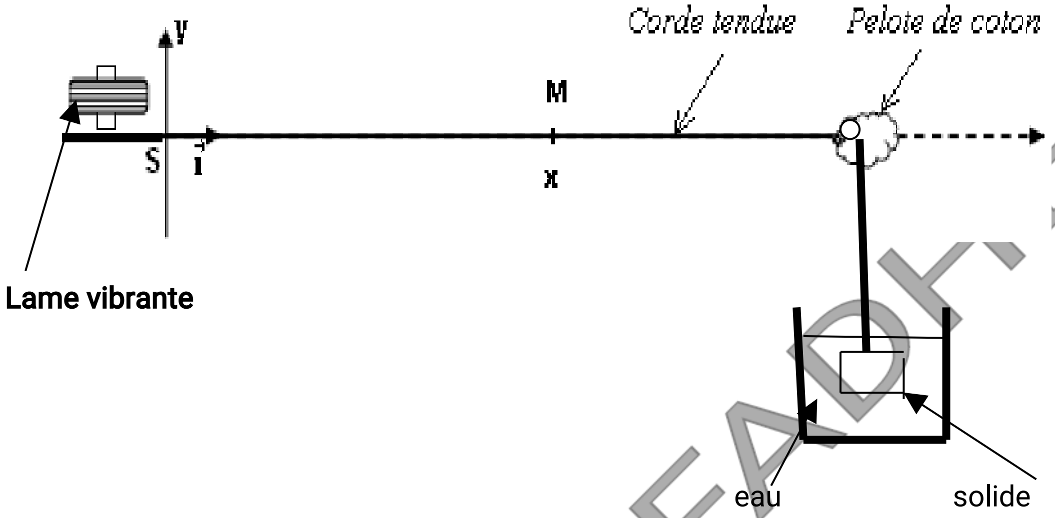
Les ondes mécaniques progressives

I. Cas dans corde élastique (unidimensionnel)

A- Etude expérimentale

1) Montage



Q1 : quel est le rôle de l'eau et le coton ?

Le coton est l'eau ont un rôle de minimiser l'effet d'onde réfléchie

Q2 : qu'observe t-on en lumière ordinaire

On observe une bande rectangulaire floue de largeur 2a (avec a est l'amplitude de vibration de la source)

Q3: qu'observe t-on en lumière stroboscopique de fréquence Ne et de période Te (en prend N et T successivement du la fréquence et la période du vibreur)

1er cas : $\frac{N}{Ne} = \frac{Te}{T} = k$ avec ($k \in N^*$)

On observe une seule corde ayant la forme d'une sinusoïde en immobilité apparente appelé sinusoïde d'espace ou aspect de la corde a un instant de t donne

Entre deux éclaire successives de stroboscope .chaque point de la corde effectue K oscillations complètes parcourt une distance 4ak (a amplitude d'oscillation)

2emme cas : $\frac{N}{Ne} = \frac{Te}{T} = k + \varepsilon$ avec ($k \in N^*$ et ε est tres faible par rapport a 1)

On observe une seule corde ayant la forme d'une sinusoïde en mouvement ralenti dans le sens réel de propagation

2emme cas : $\frac{N}{Ne} = \frac{Te}{T} = k - \varepsilon$ avec ($k \in N^*$ et ε est tres faible par rapport a 1)

On observe une seule corde ayant la forme d'une sinusoïde en mouvement ralenti dans le sens inverse de propagation

Q4 : définir un ébranlement

Un ébranlement est une déformation rapide imposée dans un milieu propagateur (élastique)

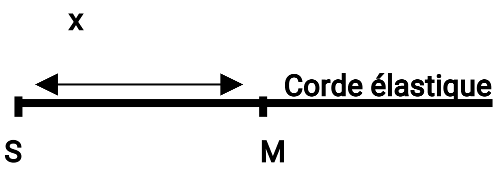
Q5 : Citer deux types d'ébranlement

- Ebranlement est dite transversal lorsque le déplacement des points de milieux propagateur s'effectue perpendiculairement à celle de la propagation
- Ebranlement est dite longitudinal lorsque le déplacement des points de milieux propagateur s'effectue parallèlement à celle de la propagation

Q_6 : définir une onde mécanique

Une onde est le phénomène résultant de la propagation d'une succession d'ébranlement dans un milieu propagateur donné

A- Etude théorique



M reproduit le mouvement de la source avec un retard horaire $\theta_M = \frac{x}{C}$

x la distance en (m)

c : la vitesse d'onde en ($m.s^{-1}$)

Q_7 : pourquoi on dit célérité d'onde et non pas vitesse d'onde

On dit célérité car au cours de la propagation d'un ébranlement il ya transfert d'énergie et non pas de matière

Remarques : la célérité ne dépend pas qu'au milieu de propagation

Loi de propagation

$$y_M(t, x) = y_s(t - \theta) \text{ avec } y_s = a \sin(\omega t + \varphi_s)$$

$$y_M(t, x) = a \sin(\omega(t - \theta) + \varphi_s)$$

$$y_M(t, x) = a \sin(\omega t - \omega\theta + \varphi_s) / \theta = \frac{x}{C}$$

$$y_M(t, x) = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi x}{T\,C} + \varphi_s\right) \text{ soit } \lambda = C\,T = \frac{C}{N}$$

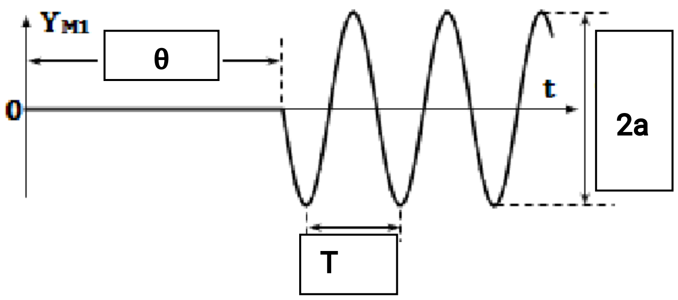
$$y_M(t, x) = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x + \varphi_s\right) \text{ si } t \geq \theta$$

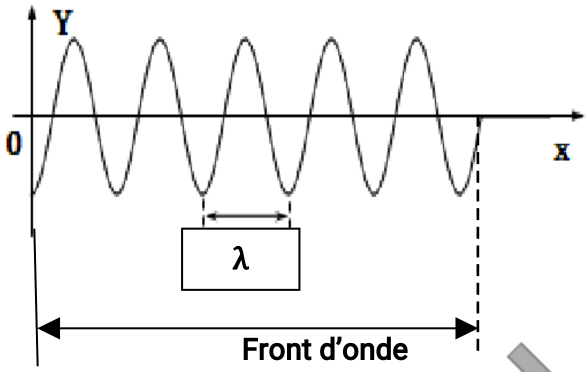
L'onde présente une double périodicité :

- une période temporelle T (exprimée en secondes)
- une période spatiale ou longueur d'onde λ (exprimée en secondes) qui est par définition : <u>La distance parcourue par l'onde progressive pendant la durée T</u>

$$\lambda = C\,T = \frac{C}{N}$$

Sinusoïde de temps	Sinusoïde de temps ou
La positon du point est fixe	Le temps est fixe





Front d'onde (d)
C'est la distance parcourue par l'onde
Progressive pendant la durée t avec d = C .t

Remarques :

En observant la sinusoïde des temps on peut savoir directement la valeur de φ_s :

- lorsque la sinusoïde commence, a l'instant $t = \theta$, on se dirigeant dans le sens positif donc $\varphi_s = 0$ rad
- lorsque la sinusoïde commence, a l'instant $t = \theta$, on se dirigeant dans le sens negatif donc $\varphi_s = \pi$ rad

En observant la sinusoïde des espaces on peut savoir directement la valeur de φ_s :

- lorsque le front d'onde se termine par un minimum $\varphi_s = \pi$ rad
- lorsque le front d'onde se termine par un maximum $\varphi_s = 0$ rad

la déphasage entre le mouvement de deux points A et B de la corde d'abscisses respectives x_A et x_B telque

$x_A < x_B$

$$y_A(t) = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x_A + \varphi_s\right) \text{ avec } \varphi_A = -\frac{2\pi}{\lambda}x_A + \varphi_s \text{ pour } t \geq \theta_A = \frac{x_A}{C} = \frac{x_A T}{\lambda}$$

$$y_B(t) = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x_B + \varphi_s\right) \text{ avec } \varphi_B = -\frac{2\pi}{\lambda}x_B + \varphi_s \text{ pour } t \geq \theta_B = \frac{x_B}{C} = \frac{x_B T}{\lambda}$$

$$\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B = -\frac{2\pi}{\lambda}x_A + \varphi_s + \frac{2\pi}{\lambda}x_B - \varphi_s = \frac{2\pi}{\lambda}(x_B - x_A)$$

- Si A et B vibrent en phase : $\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B = \frac{2\pi}{\lambda}(x_B - x_A) = 2K\pi$ avec $K \in Z^*$

D'ou $x_B - x_A = K\lambda$

D'où la distance minimale entre A et B vibrent en phase et λ

- Si A et B vibrent en opposition de phase : $\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B = \frac{2\pi}{\lambda}(x_B - x_A) = (2K+1)\pi$ avec K ∈Z

$$\text{D'ou} \quad x_B - x_A = (2K+1)\frac{\lambda}{2}$$

D'où la distance minimale entre A et B vibrent en phase et $\frac{\lambda}{2}$

- Si A et B vibrent en quadrature de phase : $\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B = \frac{2\pi}{\lambda}(x_B - x_A) = \frac{\pi}{2} + K\pi$ avec K ∈Z

$$\text{D'ou} \quad x_B - x_A = \left(\frac{1}{2} + K\right)\frac{\lambda}{2}$$

- Si A vibre en quadrature avance par rapport B de phase : $\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B = \frac{2\pi}{\lambda}(x_B - x_A) = \frac{\pi}{2} + 2K\pi$

  avec K ∈Z

$$\text{D'ou} \quad x_B - x_A = \left(\frac{1}{2} + 2K\right)\frac{\lambda}{2}$$

D'où la distance minimale entre A et B vibrent en phase et $\frac{\lambda}{4}$

- Si A vibre en quadrature avance par rapport B de phase : $\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B = \frac{2\pi}{\lambda}(x_B - x_A) = -\frac{\pi}{2} + 2K\pi$

  avec K ∈Z *

$$\text{D'ou} \quad x_B - x_A = \left(-\frac{1}{2} + 2K\right)\frac{\lambda}{2}$$

D'où la distance minimale entre A et B vibrent en phase et $\frac{3\lambda}{4}$

Remarque :

Le déphasage entre le mouvement de la source et celui d'un point M de la corde d'abscisse x

$$\Delta\varphi = \varphi_S - \varphi_M = \varphi_s - \left(-\frac{2\pi}{\lambda}x_B + \varphi_s\right) = \frac{2\pi}{\lambda}x$$

	S et M vibrent En phase	S et M vibrent en opposition de phase	S et M vibrent en quadrature de phase	S vibre en quadrature avancede phase devant M	S vibre en quadrature retard de phase devant M
$\Delta\varphi = \varphi_S - \varphi_M$	$2K\pi$	$(2K+1)\pi$	$\frac{\pi}{2} + K\pi$	$\frac{\pi}{2} + 2K\pi$	$-\frac{\pi}{2} + 2K\pi$
x	$K\lambda$	$(2K+1)\frac{\lambda}{2}$	$\left(\frac{1}{2} + K\right)\frac{\lambda}{2}$	$\left(\frac{1}{2} + 2K\right)\frac{\lambda}{2}$	$\left(-\frac{1}{2} + 2K\right)\frac{\lambda}{2}$

Représentation de l'aspect de la corde a une date donne t_1 $y = f(x)$

A un instant t_1 on a :

$y(t_1 , x) = a \sin(\frac{2\pi}{T}t_1 - \frac{2\pi}{\lambda}x + \varphi_s)$ sachant que $\sin \alpha = \sin(\pi - \alpha)$

$y(t_1 , x) = a \sin(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{\lambda}t_1 - \varphi_s + \pi)$ pour $0 \leq X \leq x_F$ (abscisse front d'onde)/$x_F = Ct_1 = \frac{\lambda}{T}t_1$

Soit $(-\frac{2\pi}{\lambda}t_1 - \varphi_s + \pi)$ la phase initiale si $x = 0$

Remarque :

Connaissant la phase initiale φ_s on peut représenter l'aspect de la corde a partir du x_F en allant vers l'axe d'abscisse x=0

- lorsque $\varphi_s = \pi$ rad le front d'onde se termine par un minimum
- lorsque $\varphi_s = 0$ rad le front d'onde se termine par un maximum