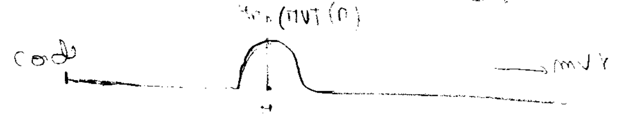
L'onde progressive

Propagation d'un ébranlement.

Déf. On appelle ébranlement une déformation de courte durée imposé localement à un milieu élastique.

Ebranlement transversale



- si la direction de mvt de l'ébranlement et le mvt d'un point M de la corde sont perpendiculaires.

Ebranlement longitudinale

- si la direction est la meme que celle de sa propagation

* Célérité d'un ébranlement.

- Principe de propagation : Tout point M d'un milieu élastique atteint par l'ébranlement reproduit le mvt du point S avec un retard de temps θ qui représente le temps mis par l'ébranlement pour parcourir la distance SM

$$\boxed{\theta = \frac{SM}{V}}$$

$$\boxed{V = \frac{d}{\Delta t} = \frac{SM}{t_1 - t_0}}$$

Rq: * V est la célérité de propagation de l'ébranlement le long du milieu

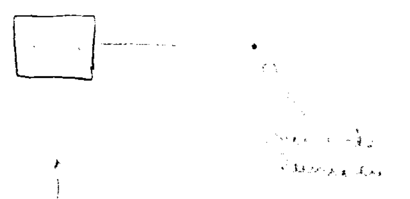
* L'élongation $y_M(t)$ est égale à celle qu'avait la source à la date $(t-\theta)$

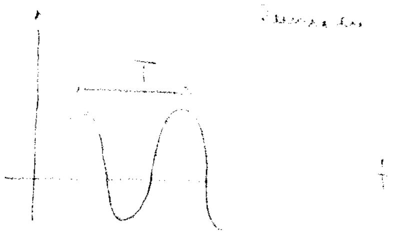
$$\boxed{y_M(t) = y_S(t-\theta)}$$

2) Propagation d'une onde sinusoïdale entretenue.

On appelle onde progressive, une serie d'ébranlement identiques émis à des intervalles de temps successifs et égaux qui se propage dans un milieu élastique

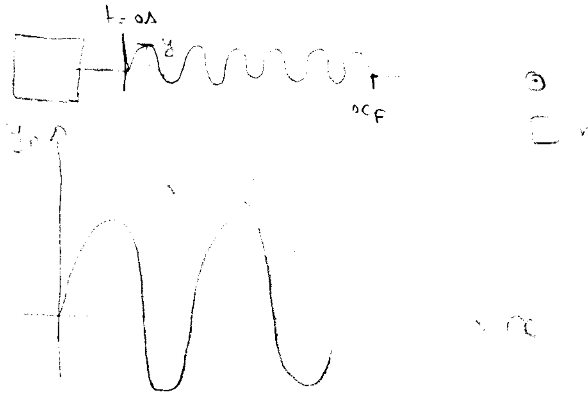
* mvt d'un point M de la corde en fonction de temps





T periode temporelle

* Aspect de la corde à un instant t donné



λ periode spatiale.

λ: la longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde pendant une durée égale à la période temporelle.

$V = \frac{d}{\Delta t} = \frac{\lambda}{T}$ $\boxed{\lambda = VT}$ $\boxed{\lambda = \frac{V}{N}}$

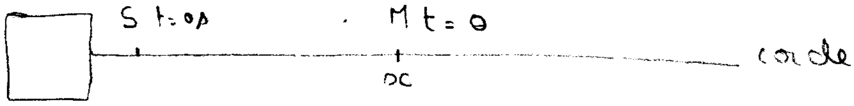
- en lumière ordinaire On observe une bande floue.
- en lumière stroboscopique : la corde parait sous forme d'une sinusoïde d'espace.

$N_e \gtrsim \frac{N}{K}$ $T_e \lesssim KT$: mvt ralenti en s'éloignant de la source (sens réel)

$N_e \simeq \frac{N}{K}$ $T_e \simeq KT$: immobilité

$N_e \lesssim \frac{N}{K}$ $T_e \gtrsim KT$: mvt de ralenti en s'approchant de la source (sens inverse)

<u>Etude théorique</u>



Equation horaire du Mvt d'un point M quelconque de la corde.

Le point M reproduit le m mvt de la source S avec un retard $\theta = \frac{x}{V}$

D'après le principe de propagation de l'onde.

$$\begin{cases} y_{M(t)} = 0 & \text{si } t < \theta \\ y_{M(t)} = y_S(t-\theta) & \text{si } t \geq \theta \end{cases}$$

$$y_{M(t)} = a \sin(\omega(t-\theta) + \varphi_S)$$
$$= a \sin(\omega t - \omega\theta + \varphi_S)$$
$$= a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{T}\frac{x}{V} + \varphi_S\right)$$

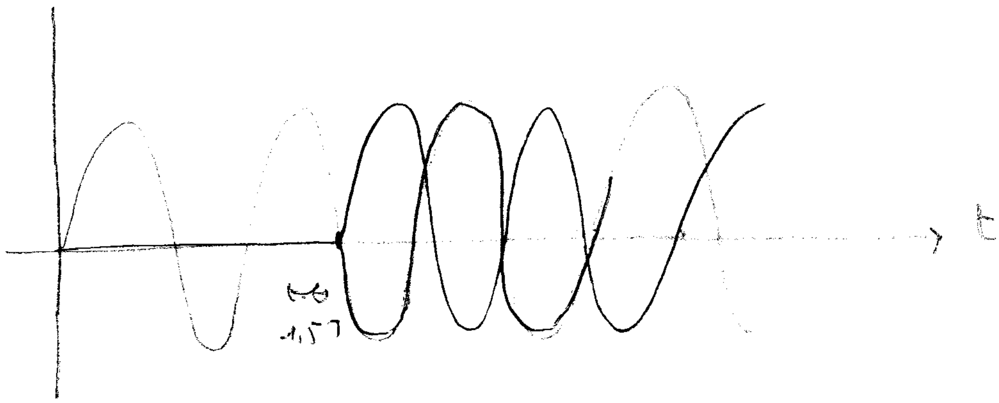
$$y_{M(t)} = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{T}\frac{x}{V} + \varphi_S\right)$$

$$\begin{cases} y_M(t,x) = 0 & \text{si } t < \theta \\ y_M(t,x) = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_S\right) & \text{si } t \geq \theta \end{cases}$$

Déduire l'équation horaire du mvt d'un pt M_1 d'abscisse x_1

$$\begin{cases} y_{M_1}(t) = 0 & \text{si } t < \theta \\ y_{M_1}(t) = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi x_1}{\lambda} + \varphi_S\right) & \text{si } t \geq \theta \end{cases}$$

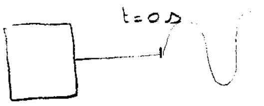
Représenter $y_S(t)$ et $y_M(t)$ dans le m repère.



$\frac{x_1}{\lambda} = 1{,}5 \Leftrightarrow x_1 = 1{,}5\,\lambda$ $\quad \theta_1 = \frac{x_1}{V} = \frac{1{,}5\,\lambda}{V} = \frac{1{,}5 \times T.V}{V}$ $\quad \theta_1 = 1{,}5T$

$y_{M_1}(t)$ est une translation de $y_{S(t)}$ par θ_1 (s)

Représenter l'aspect de la corde à l'instant t_1



t_1

x_F front d'onde

(distance parcourue par l'onde à t_1)

$$V = \frac{d}{\Delta t} = \frac{x_F}{t_1 - t_0} = \frac{x}{t_1} \quad \boxed{x_F = V \cdot t_1}$$

$$t = t_1 \quad y_n(x) = a \sin\left(\omega t_1 - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_s\right)$$

$$\boxed{y_n(x) = a \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \omega t_1 - \varphi_s + \pi\right)}$$

$x_F = f(\lambda)$

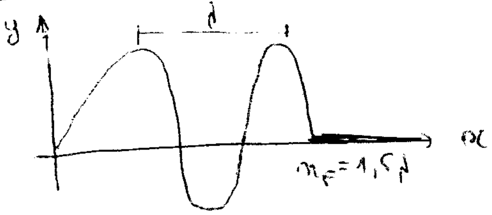
$\frac{t_1}{T} = 1{,}5 \iff t_1 = 1{,}5T$ on a $x_F = V t_1$

$x_F = V \cdot 1{,}5T$

$x_F = 1{,}5\lambda$

$$\boxed{\begin{cases} y_n(x) = 0 & \text{si } x > x_F \\ y_n(x) = a \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x - \omega t_1 - \varphi_s + \pi\right) & \text{si } x \leq x_F \end{cases}}$$

1ᵉʳ Cas : Corde Infinie $\quad x_F = f(\lambda)$



2ᵉ Cas : Corde finie (longueur L)

$x_F = f(\lambda)$, $L = f(\lambda)$

$\frac{L}{\lambda} =$

a) $x_F < L$ Les points de la corde ne sont pas tous en mvt

$$\begin{cases} y_n(x) = 0 & \text{si } x_F < x < L \\ y_n(x) = a \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x - \omega t_1 - \varphi_s + \pi\right) & \text{si } x < x_F \end{cases}$$

les points de la corde sont en mvt

b) $x_F \geq L$ tous les points de la corde sont en mvt

$y_n(x) = a \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x - \omega t_1 - \varphi_s + \pi\right)$ si $0 \leq x \leq L$.

Dephasage par rapport à la source.

- Le pt M vibre en phase avec la source S. $\Delta\varphi = \varphi_S - \varphi_M = \frac{2\pi x}{\lambda} = 2K\pi$

$\boxed{x = K\lambda}$; $K \in \mathbb{N}^*$

- Le pt M vibre en opposition de phase avec la source S. $\frac{2\pi x}{\lambda} = (2K+1)\pi$

$\boxed{x = (K + \frac{1}{2})\lambda}$; $K \in \mathbb{N}$

- Le pt M vibre en quadrature retard de phase par rapport à la sou

$\boxed{x = (4K+1)\frac{\lambda}{4}}$; $K \in \mathbb{N}$

- Le pt M vibre en quadrature avance % à la source S

$\boxed{x = (4K-1)\frac{\lambda}{4}}$ $K, \in \mathbb{N}^*$

Le pt M vibre en phase avec la source.

$\Delta\varphi = 2K\pi$

$\frac{2\pi x}{\lambda} = 2K\pi \times \frac{\lambda}{2\pi}$

$\boxed{x = K\lambda}$; $K \in \mathbb{N}^*$

Le pt M vibre en opposition de phase

$\Delta\varphi = (2K+1)\pi$.

$\frac{2\pi}{\lambda} x = \frac{(2K+1)\pi\lambda}{2\pi} = \frac{2K\pi + \pi}{2\pi}\lambda$

$x = (K + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{\cancel{2}}$ $\quad \frac{\frac{1}{2}}{2}$

$\boxed{x = (K + \frac{1}{2})\lambda}$

Le pt M vibre en quadrature retard

$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} + 2K\pi = \pi(\frac{1}{2} + 2K)$

$\frac{2\pi x}{\lambda} = \pi(\frac{1}{2} + 2K)$ $\quad \frac{\frac{1}{2}}{2\pi}$

$\cancel{2\pi x} = \lambda \cancel{\frac{1\pi}{2}} + \cancel{2K\pi}$.

$x = \cancel{\frac{\lambda + \frac{1}{2}\pi + 2K\pi}{2\pi}} = \frac{\lambda}{2\pi} \cancel{+ \frac{1}{4}\pi} + 2K$

$\frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{\cancel{2}}(\frac{1}{2} + 2K)$

$\cancel{\frac{2\pi x}{\lambda}} = \frac{2x}{\lambda} = \frac{1}{2} + 2K$.

$x = (2K + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{2}$

$\boxed{x = K\lambda + \frac{\lambda}{4}}$

Le pt M vibre en quadrature retard

$\Delta\varphi = -\frac{\pi}{2} + 2K\pi$; $K \in \mathbb{N}$

$= \pi(-\frac{1}{2} + 2K)$

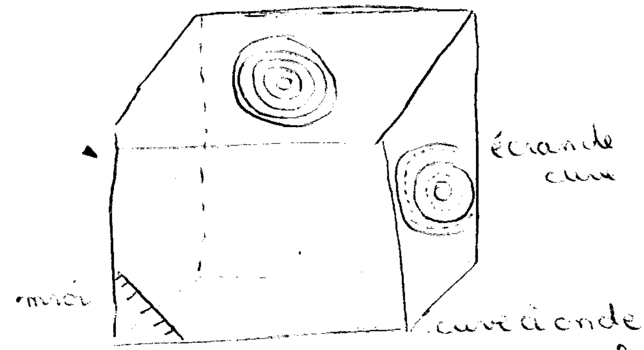
$\frac{2\pi x}{\lambda} = \pi(-\frac{1}{2} + 2K)$

$\frac{2x}{\lambda} = -\frac{1}{2} + 2K$.

$x = (-\frac{1}{2} + 2K)\frac{\lambda}{2}$.

$\boxed{x = K\lambda - \frac{\lambda}{4}}$

Onde progressive à la surface de l'eau



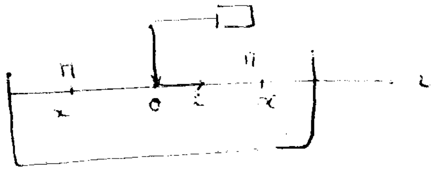
Donner l'aspect de la surface de l'eau observer en lumière ordinaire

On observe à la surface de l'eau des rides circulaires équidistantes entre eux et concentriques de centre S appelé crêtes qui s'éloignent de la source. Sur l'écran de la cuve on observe une image de la surface de l'eau qui présente des cercles { brillants (image de crête) et des cercles { sombres / clairs (l'image de creux)

Décrire l'aspect de la surface de liquide observé en lumière stroboscopique

On observe à la surface de l'eau deux familles de rides circulaires (crêtes et creux) équidistantes entre eux et concentriques de centre S

II/ Etude théorique



1) Etablir l'équation horaire du mvt d'un point M de la surface de l'eau situé à une distance x de la source

Le point M reproduit le même mvt de la source S après un retard $\theta = \frac{x}{v}$

D'après le principe de propagation

$$\begin{cases} y_M(t) = 0 & \Leftrightarrow t < \theta \\ y_M(t) = y_S(t - \theta) & t \geq \theta \end{cases}$$

$$y_M(t) = a \sin(\omega(t - \theta) + \varphi_S)$$

$$= a \sin(\omega t - \omega\theta + \varphi_S)$$

$$= a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{T} \times \frac{x}{v} + \varphi_S\right)$$

$$y_M(t) = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi_S\right)$$

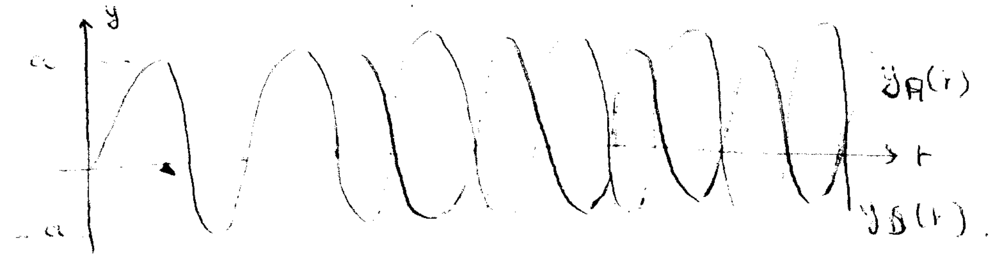
$$\begin{cases} y_M(t) = 0 & t < \theta \\ y_M(t, x) = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi_S\right) & t \geq \theta \end{cases}$$

2) Déduire l'équation horaire du mvt d'un point M_1 d'abscisse x_1

$\cdot\ y_{M_1}(t) = 0 \quad$ si $t < \theta_1$

$y_{M_1}(t) = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x_1 + \varphi_S\right) \quad$ si $t \geq \theta_1 \qquad \theta_1 = \frac{x_1}{v}$

3) Représenter $y_{M_1}(t)$ et $y_S(t)$ dans le même repère.



$\frac{x_A}{\lambda} = 1,5 \Leftrightarrow x_A = 1,5\,\lambda$

$\Theta_1 = \frac{x_1}{V} = \frac{1,5\,\lambda}{V} = \frac{1,5\,VT}{V} \Leftrightarrow \Theta_1 = 1,5\,T$

$y_{M_1}(t)$ est une translation de $y_S(t)$ par $\Theta_1 = 1,5\,T$

4) Représenter une coupe de la nappe d'eau à l'instant t_1

$\frac{t_1}{T} = 2,5 \Leftrightarrow t_1 = 2,5\,T$; On a $x_F = V\,t_1$

$x_F = V\,2,5\,T \Leftrightarrow x_F = 2,5\,\lambda$

$V = \frac{d}{\Delta t} = \frac{x_F}{t_1 - t_0} = \frac{x_F}{t_1}$

$x_F = V\,t_1$

$\begin{cases} y_{t_1}(x) = 0 & \text{si } x > x_F \text{ et } x < -x_F \\ y_{t_1}(x) = a \sin(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x + \varphi_S) & -x_F < x < x_F \end{cases}$

$y_{t_1}(x) = 0$ si $x > 2,5\,\lambda$ et $x < -2,5\,\lambda$

$y_{t_1}(x) = a \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \omega t_1 - \varphi_S + \pi\right)$ si $-2,5\,\lambda < x < 2,5\,\lambda$