# Les ondes mécaniques

## I/ Définition

on appelle onde, le phénomène résultant de la propagation d'une succession d'ébranlement dans un milieu donné.

il existe deux types d'ébranlements

* ébranlement transversal

quand la direction de propagation est perpendiculaire à celle de la déformation (Fil, eau)

* ébranlement longitudinal

quand la direction de propagation est parallèle à celle de la déformation (ressort - son)

Nature de L'onde :

La propagation d'une onde correspond à un transport d'énergie sans déplacement de matière

• Toute onde se propageant dans un milieu ouvert est dite progressive. Elle est caractérisé par une double périodicité spatiale $\lambda$ et temporelle $T$.

• La célérité d'un ébranlement provoqué dans un milieu élastique est constante, indépendante de la forme de l'ébranlement et ne dépend que de la nature et de l'état du milieu propagateur.

## II/ Onde progressive le long d'une corde élastique tendue

### 1°/ observation

• en lumière ordinaire :

la corde prend l'aspect d'une bande floue de largeur "2a"


2a

• rôle du coton : absorbe l'énergie et évite la réflexion de l'onde.

• En lumière stroboscopique

* pour $T_e = KT$ ($K \in \mathbb{N}^*$) ($N = kN_e$)

La corde paraît sous forme d'une sinusoïde immobile de période spatiale $\lambda$

* pour $T_e$ légèrement supérieure à $K.T$ ($T_e = (K+\varepsilon)T$)

La corde paraît sous forme d'une sinusoïde en mouvement apparent lent dans le sens direct

* pour $T_e$ légèrement inférieure à $K.T$ ($T_e = (K-\varepsilon)T$)

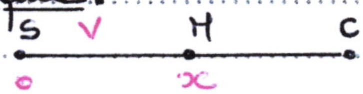
La corde paraît sous forme d'une sinusoïde en mouvement apparent lent dans le sens inverse.

• Principe de propagation

tout point du milieu propagateur reproduit le mouvement de la source après un retard horaire $\theta = \frac{SM}{V}$

$$y_M(t,x) = y_S(t-\theta)$$

### 2°/ Etude théorique




$SC = 80\,cm$

$a = 2\,mm$

$N = 100\,Hz$

à $t=0$ ; le pt S commence à vibrer en allant dans le sens négatif.

• Equation horaire de la source

$$y_S(t) = 2.10^{-3}\sin(200\pi t + \pi)\ (m)$$

• Equation du mouvement d'un point M de la corde $SM = x$

D'après le principe de propagation des ondes : $y_M(t,x) = y_S(t-\theta)$ avec $\theta = \frac{x}{V}$

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

avec • $\lambda_{(m)} = V.T_{(s)}$

• $\varphi_M = -\frac{2\pi x}{\lambda}+\varphi_s$

$y_M(t,x) = f(t,x)$ Équation de l'onde progressive

**Définition**

La longueur d'onde $\lambda$ est la distance parcourue par l'onde pendant une période temporelle T.

Q : La célérité V de l'onde le long de la corde est $V = 16\,m\,s^{-1}$. Déterminer l'équation horaire du point A de la corde d'abscisse $x_A = SA = 24\,cm$ ($x_A$ fixé)

• $\lambda = C.T = \frac{C}{N} = \frac{16}{100} = 0{,}16\,m$

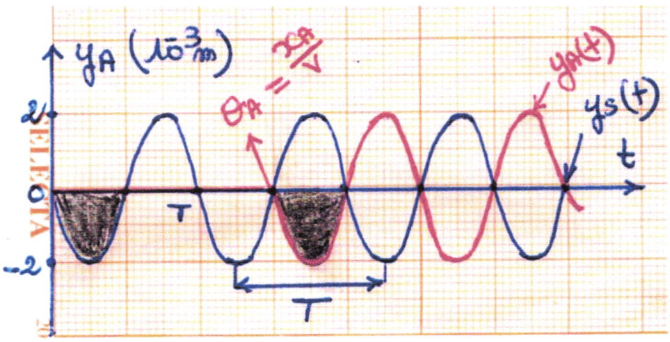
• Le point A commence son mouvement à $\theta_1 = \frac{x_A}{V} = \frac{0{,}24}{16} = 0{,}015\,s$

$\frac{\theta_1}{T} = \theta_1 . N = 1{,}5$

$\theta_1 = 1{,}5.T$

$$y_A(t) = 2.10^{-3}\sin\left(200\pi t-\frac{2\pi x_A}{\lambda}+\pi\right)$$
$$= 2.10^{-3}\sin\left(200\pi t-3\pi+\pi\right)$$

$$\begin{cases} y_A(t) = 2.10^{-3}\sin(200\pi t) & t \geq \theta_A \\ y_A(t) = 0 & 0 \leq t \leq \theta_A = 1{,}5T \end{cases}$$




Q : Déterminer l'aspect de la corde $y_M(x) = f(x)$ à l'instant $t_1 = 2{,}25.10^{-2}\,s$ ($t_1$ fixé)

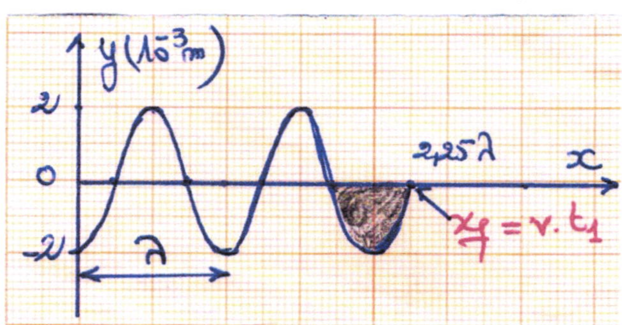
à l'instant $t_1 = 2{,}25.10^{-2}\,s$ l'onde s'est propagée d'une distance $x_F$ telle que $\frac{x_F}{\lambda} = \frac{t_1}{T} = 2{,}25.10^{-2}\times 100$

$x_F = 2{,}25.\lambda$ (front d'onde)

L'équation de l'onde progressive est $y_M(x) = 2.10^{-3}\sin\left(200\pi.t_1-\frac{2\pi x}{\lambda}+\pi\right)$

$$y_M(x) = 2.10^{-3}\sin\left(5{,}5\pi-\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$
$$= 2.10^{-3}\sin\left(-\frac{\pi}{2}-\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$
$$= 2.10^{-3}\sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}+\frac{\pi}{2}+\pi\right)$$
$$= 2.10^{-3}\sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}-\frac{\pi}{2}\right)$$

$$\begin{cases} y_M(x) = 2.10^{-3}\sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}-\frac{\pi}{2}\right) & \forall x \leq 2{,}25\lambda \\ y_M(x) = 0 & 2{,}25\lambda \leq x \leq x_g = 5\lambda \end{cases}$$



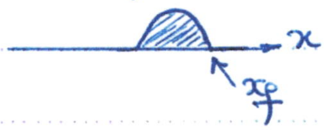

• Le front d'onde renseigne sur la phase initiale de la source $\varphi_s$.

• si le front d'onde est précédé par un creux


alors $\varphi_S = \pi$

($t=0$ ; $y_S=0$ et $\frac{dy_S}{dt}<0$)

• si le front d'onde est précédé par une crête



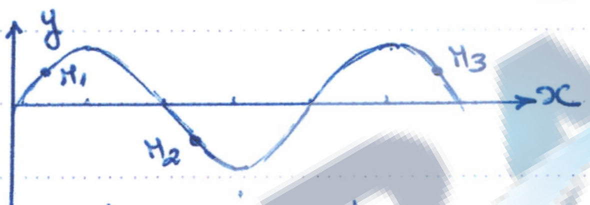

alors $\varphi_S = 0$

($t=0$ ; $y_S=0$ et $\frac{dy_S}{dt}>0$)

• Remarque signe de la vitesse d'un point M

$V_M = \frac{dy_M}{dt}$

$V_M$ est de signe contraire à $\frac{dy_M}{dx}$




$V_{M_1} = \frac{dy_{M_1}}{dt} < 0$ car $\frac{dy_{M_1}}{dx} > 0$

$V_{M_2}$ et $V_{M_3}$ sont $>0$ car $\frac{dy_{M_2}}{dx} < 0$ et $\frac{dy_{M_3}}{dx} < 0$

Remarque

entre deux instants $t_1$ et $t_2$ ($t_2>t_1$) le front d'onde progresse de

$\Delta x_F = x_{F_2} - x_{F_1} = V(t_2-t_1)$.

Q : déphasage entre un point M et la source est donnée par :

$\Delta\varphi = \varphi_S - \varphi_M$

$= (\varphi_S) - \left(-\frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_S\right)$

$\Delta\varphi = \varphi_S - \varphi_M = \frac{2\pi x}{\lambda}$

• S et M vibrent en phase

$\Delta\varphi = \frac{2\pi x}{\lambda} = 2k\pi$

$\Rightarrow x = k\lambda$ avec $0 < x < x_f$

• S et M vibrent en opposition de phase

$\Delta\varphi = \pi + 2k\pi = \frac{2\pi x}{\lambda}$

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

• S et M vibrent en quadrature de phase

$\Delta\varphi = \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + k\pi$

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

• M vibre en quadrature avance de phase par rapport à S

$\Delta\varphi = \frac{2\pi x}{\lambda} = -\frac{\pi}{2} + 2k\pi$

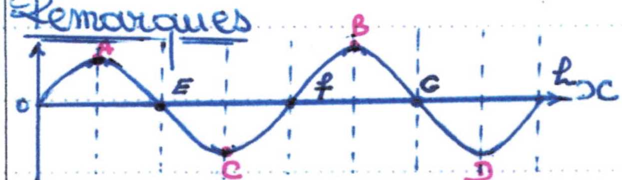
$x = (k-\frac{1}{4})\lambda = k\lambda - \frac{\lambda}{4}$

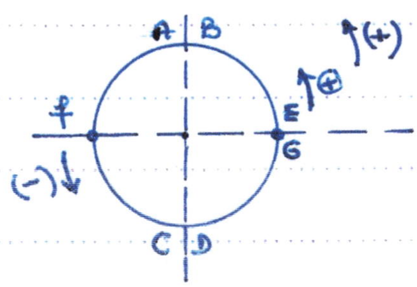
• M vibre en quadrature retard de phase par rapport à S

$\Delta\varphi = \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + 2k\pi$

$x = (k+\frac{1}{4})\lambda = k\lambda + \frac{\lambda}{4}$

Remarques



## III- Onde progressive à la surface de l'eau.

- L'onde progressive à la surface de l'eau est une onde transversale qui se propage dans toutes les directions.

* A la lumière ordinaire la surface de l'eau paraît sous forme des rides circulaires concentriques sur la source ponctuelle (S).

* En lumière stroboscopique

- pour $T_e = kT$ ($N_e = \frac{N}{k}$ ; $k \in \mathbb{N}^*$) la surface de l'eau paraît immobile avec des crêtes circulaires concentriques, alternées par des creux de même forme.

- pour $T_e$ légèrement supérieur à $kT$ la surface d'eau apparait sous formes de rides circulaires concentriques qui semblent progresser au ralentie dans le sens réel (en s'éloignant de la source).

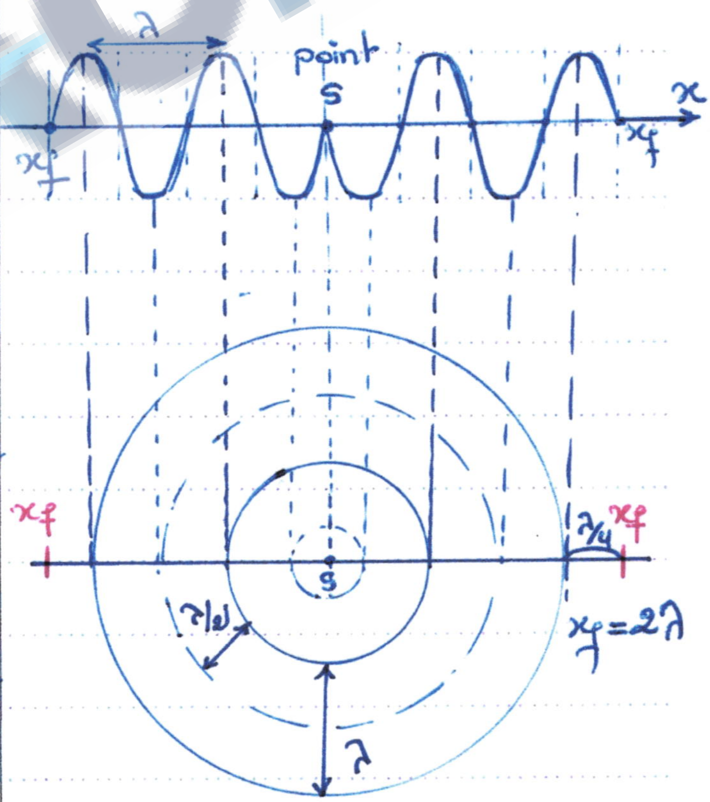
- pour $T_e$ légèrement inférieur à $kT$ la surface d'eau apparait sous forme de rides circulaires concentriques qui semblent progresser au ralentie dans le sens inverse. (Convergent vers la source)

### Remarques

- En s'éloignant de la source l'amplitude diminue, car il y a dilution d'énergie.

- tous les points appartenant à une même ride de rayon r ont le même état de vibration à chaque instant.

* même principe que la corde sauf l'aspect (coupe de la surface de l'eau par un plan vertical passant par (S) à $t_1$ :



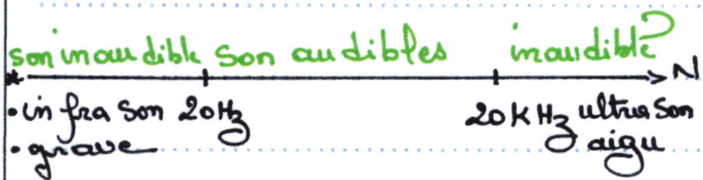

Fin

4

10/18

## IV- Onde progressive sonore

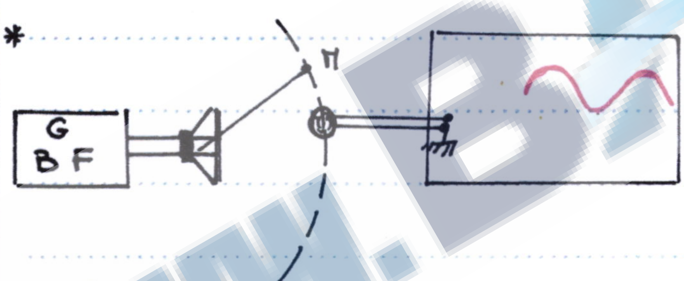
* Le son ne se propage pas dans le vide : un milieu materiel est donc nécessaire




* Le son peut se propager dans les solides, les liquides ou les gaz avec une célérité plus ou moins importante

| milieu | eau de mer | Fonte | verre |
|---|---|---|---|
| $c(m s^{-1})$ | 1500 | 3000 | 5000 |

*




. Les vibration sonore émise par le haut parleur se propage dans toutes les directions

. Les points situés sur une sphere (S) de rayon r et centreé sur le haut parleur, ont tous le même mouvement de vibration.

Rq : La propagation des vibrations sonores est accompagnée d'un phénomène d'amortissement car en s'éloignant de la source il y a dilution d'energie.

* L'onde sonore est une onde longitudinal car la direction de propagation de l'onde est parallele à celle de sa déformation.

Rq : La variation de la fréquence N du GBF ne fait pas changer la célérite c du son émis.

Fin