

Enoncé



L'extrémité S d'une lame vibrante, est animée d'un mouvement vertical d'équation horaire

$$y_s(t) = a \cdot \sin(2\pi Nt) \quad \text{avec } a = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m ; } N = 50 \text{ Hz}$$

On attache à l'extrémité S de la lame vibrante une corde élastique de longueur $L = 80 \text{ cm}$ tendue horizontalement. Une onde mécanique se propage alors le long de la corde à la célérité $V = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. On néglige l'amortissement et la réflexion de l'onde sur l'autre extrémité de la corde.

- 1- Dire, en le justifiant s'il s'agit d'une onde transversale ou longitudinale.
- 2- Calculer la longueur d'onde λ de l'onde qui se propage le long de la corde.
- 3- Décrire l'aspect de la corde observée, en lumière stroboscopique de fréquence:
 - a) $N_e = 50 \text{ Hz}$.
 - b) $N_e = 49 \text{ Hz}$.
- 4- On considère un point M de la corde situé au repos, à la distance $x = 25 \text{ cm}$ par rapport à la source S.
 - a) Etablir l'équation horaire de mouvement du point M.
 - b) Représenter les diagrammes de mouvement de la source S et du point M
- 5- a- Représenter l'aspect de la corde à la date $t = 2 \text{ s}$.
 b- Déterminer à cette date les positions des points de la corde qui vibrent en opposition de phase avec la source S.



Une lame vibrante porte une pointe S, animée d'un mouvement verticalement frappe la surface de l'eau en O telle que $y_s(t) = 10^{-3} \sin 200\pi t$ (y en m, t en s).

- 1- Etablir l'équation horaire d'un point M de la surface de l'eau, tel que $OM = x$.
- 2- Calculer la célérité de la propagation des ondes sachant que la plus petite distance entre 2 points qui vibrent en opposition de phase est $d = 2 \text{ mm}$.
- 3- Représenter graphiquement la coupe de la surface de l'eau par un plan vertical passant par O aux instants $t_1 = 0,035 \text{ s}$
- 4- Déterminer la vitesse du point M_1 d'abscisse $x_1 = 4 \text{ mm}$ sur l'axe (Ox) à l'instant de date $t_1 = 0,035 \text{ s}$.



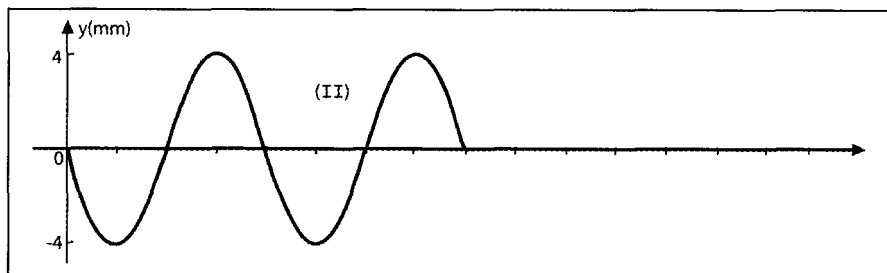
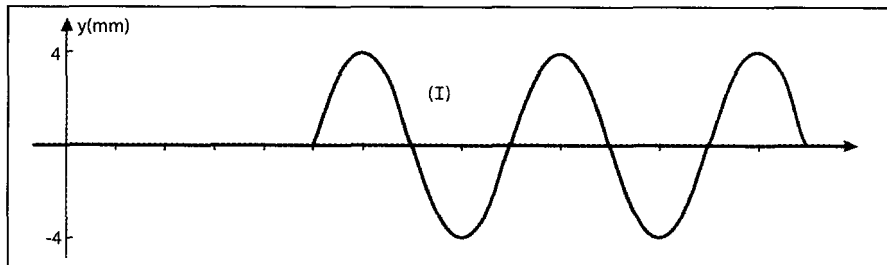
Une corde élastique de longueur $l = 1 \text{ m}$ tendue horizontalement est attachée par son extrémité S au bout d'une lame vibrante qui lui communique à partir de l'instant $t = 0$ un ébranlement sinusoïdal transversal. On suppose que

les amortissements sont négligeables. L'une des courbes de la figure ci après représente le diagramme du mouvement d'un point A de la corde situé à une distance x_A de l'extrémité source. L'autre représente l'aspect de la corde à un instant t_1 , avant que l'onde envahie toute la corde.

Echelle en abscisses :

* 1 division $5 \cdot 10^{-3}$ s.

* 1 division $x = 5$ cm.

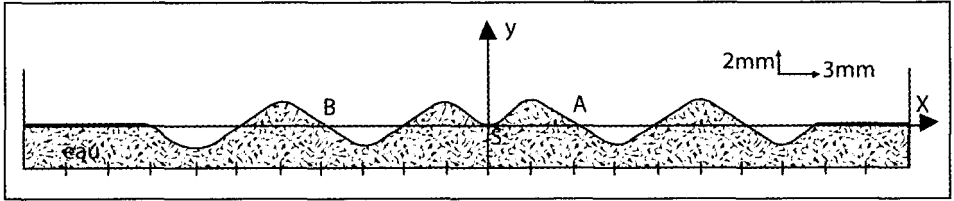


- 1) Identifier les courbes (I) et (II) en justifiant la réponse. Déduire les périodes temporelle et spatiale de l'onde ainsi que l'amplitude a de l'ébranlement.
- 2) Déterminer la célérité de propagation de l'ébranlement, la distance x_A et l'instant t_1 .
- 3) Ecrire l'équation horaire des vibrations de la source S et celle du point A de la corde.
- 4) **a-** Représenter l'aspect de la corde à l'instant $t_2 = 4,5 \cdot 10^{-2}$ s.
b- Placer sur le graphe précédent, les points ayant une elongation égale à $-\frac{a}{2}$ et se déplaçant dans le sens négatif.
- 5) Déterminer le nombre et les abscisses des points de la corde qui vibrent en quadrature retard par rapport à la source après que l'onde envahie toute la corde.



A l'extrémité d'une lame vibrante est fixée une pointe qui frappe la surface libre d'une nappe d'eau contenue dans une cuve à ondes en un point S. La

fréquence de la pointe est fixée à N . Le mouvement de S ayant débuté à l'origine de temps $t = 0$ s ; l'aspect de la surface de l'eau, suivant une coupe par



un plan vertical passant par S , est donnée à l'instant $t_1 = 0,04$ s par la figure suivante :

On néglige l'amortissement et la réflexion de l'onde.

1) A partir de la figure donnée déterminer :

a- La célérité V de l'onde.

b- La longueur d'onde λ et la fréquence N .

2) Déterminer l'équation horaire de mouvement $y_S(t)$ du point S .

3) Identifier l'ensemble des points de la surface de l'eau atteints par l'onde au même instant t .

4) Etablir l'équation horaire $y_M(t)$ du mouvement d'un point M de la surface libre de l'eau et situé à la distance x de la source S .

5) Comparer les mouvements des deux points A et B de la surface de l'eau (voir figure) lorsque l'onde progresse.

6) Tracer sur le même repère les diagrammes des mouvements des points S et A .

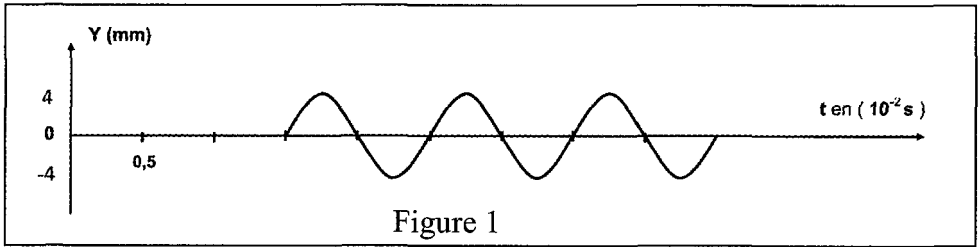
7) Représenter, suivant une direction (Sx) l'aspect de la surface de l'eau à l'instant $t_2 = 0,045$ s.



L'extrémité (S) d'une longue corde élastique tendue horizontalement est attachée à une lame vibrante qui lui communique un mouvement transversal sinusoïdal d'amplitude a et de période T .

(S) commence à vibrer à la date $t = 0$.

Le diagramme du mouvement d'un point A de la corde situé, au repos, à la distance $x_A = 12\text{cm}$ de la source est donné par la courbe de la **figure- 1-** .

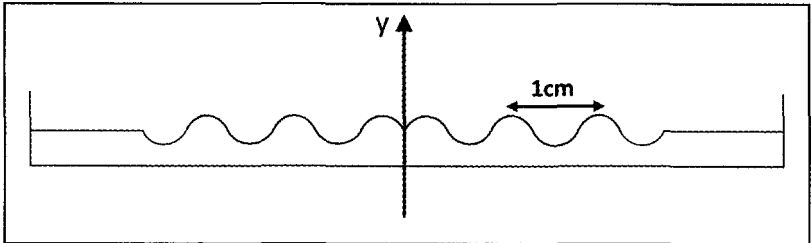


- 1) En exploitant le diagramme, déterminer la période T et la célérité V de propagation de l'onde. En déduire la valeur de la longueur d'onde λ .
- 2) Etablir l'équation horaire du mouvement du point A.
- 3) En déduire l'équation horaire du mouvement de la source S.
- 4) a- Représenter le diagramme de mouvement de la source.
- b- Comment vibre le point A par rapport à la source ?
- 5) a- Représenter l'aspect de la corde à la date $t_1 = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$.
- b- En déduire le nombre et les lieux des points de la corde qui ont à la date t_1 une elongation nulle et une vitesse positive.



Une pointe P excite périodiquement la surface d'une nappe d'eau en un point O, à la fréquence N produisant une vibration sinusoïdale d'amplitude $a = 2 \text{ mm}$.

La représentation ci-contre donne une coupe de la surface de l'eau, passant par O à l'instant $t = 0,03 \text{ s}$.



- 1) Déterminer:
 - a- La fréquence N des vibrations de la pointe.
 - b- L'équation horaire du mouvement de la source O.
 - c- Le nombre de rides circulaires correspondant à des crêtes à cette date.
- 2) A la surface de l'eau on place un morceau de liège de très faibles dimensions en un point M situé à la distance $x_1 = 22,5 \text{ mm}$ de O. le morceau de liège se met en mouvement suivant une direction perpendiculaire à celle de la propagation.
 - a- Le mouvement du morceau de liège nous renseigne sur deux propriétés importantes de l'onde : l'une concernant sa nature et l'autre concerne sa propagation. Les mentionner en justifiant la réponse.
 - b- Etablir l'équation horaire du mouvement du point M.

c- Représenter sur le même graphique les diagrammes des mouvements de la source O et du point M.

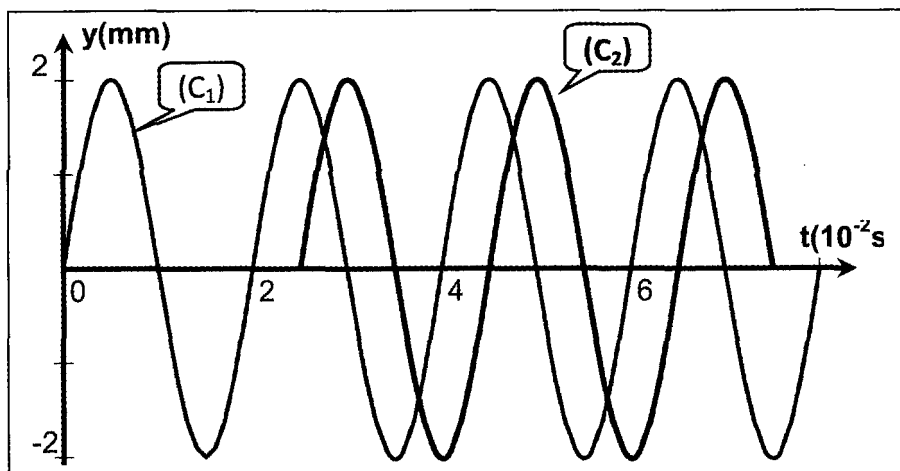
d- Calculer la vitesse maximale de M.

3) Du même côté et à la distance $x_2 = 35\text{mm}$ de O, on place un deuxième morceau de liège en un point M'. Calculer à un instant quelconque la différence de phase des mouvements de M et M'.



Une lame vibrante impose à un point S d'une nappe d'eau homogène, initialement au repos et assez étendue, un mouvement rectiligne sinusoïdal de fréquence N réglable entre 20Hz et 100Hz . Une onde transversale se propage alors supposée sans amortissement à la surface de l'eau avec la célérité $v = 0.40\text{m.s}^{-1}$. Le mouvement de la source S débute à un instant $t = 0$ s, à partir de sa position d'équilibre prise comme origine des elongations y .

La figure ci-dessous représente les diagrammes de mouvement (C_1) et (C_2) respectivement de la source S et d'un point M de la surface de l'eau situé à une distance x_M de cette source.



- 1) Déterminer graphiquement :
 - a- la valeur de la fréquence N de la source S.
 - b- la valeur de la distance x_M .
- 2) Ecrire les équations horaires de la source S puis du point M.
- 3) a- Définir la longueur d'onde λ .
- b- Calculer sa valeur à la surface de la nappe d'eau.
- 4) a- Montrer que le point M vibre en quadrature retard de phase par rapport à la source S.
- b- Déterminer les valeurs de la fréquence N pour que le point M vibre en phase avec la source S.

5) a- Montrer graphiquement qu'à l'instant $t_1 = 4.10^{-2}s$, le point M appartient à une ride creuse.

b- Schématiser l'aspect de la surface de l'eau à l'instant t_1 . (coupe transversale).

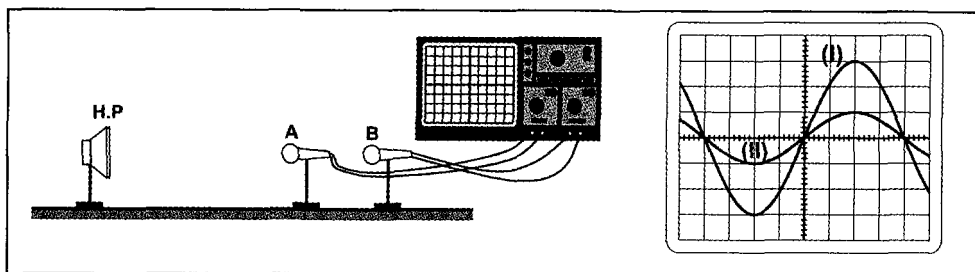
c- Indiquer sur le graphe précédent les points qui vibrent en quadrature avance de phase par rapport à la source S

d- Retrouver ces points par le calcul.



Deux microphones A et B, distants de d , sont placés dans l'axe d'un haut parleur émettant un son sinusoïdal de fréquence $N = 1,25$ kHz. Les microphones A et B, sont reliés respectivement aux voies Y_1 et Y_2 d'un oscilloscope et réglées sur la même sensibilité verticale.

On obtient les oscillogrammes ci-dessous.



1) Dire si le son est une onde transversale ou longitudinale.

2) Indiquer la voie qui correspond à chaque courbe de l'oscillogramme. Justifier la réponse.

3) Calculer la sensibilité horizontale de l'oscilloscope.

4) Comparer l'état vibratoire des deux points où sont placés les microphones.

5) a- La distance d est égale à $27,2$ cm.

Cette valeur est - elle cohérente avec la réponse précédente ? La célérité du son dans l'air est $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

b- Trouver la distance minimale entre les deux microphones pour que les deux courbes deviennent :

b₁- en opposition de phase

b₂- en quadrature de phase

6) Sans déplacer le dispositif, on divise par deux la fréquence N du son émis par le haut parleur.

Parmi les propositions suivantes, indiquer en le justifiant les affirmations exactes :

a- La période est divisée par deux.

b- La longueur d'onde est doublée.

c- Les points où sont situés les microphones vibrent en phase.



I- Étude de l'onde ultrasonore dans l'eau de mer.

- 1) Définir une onde mécanique progressive.
- 2) L'onde ultrasonore est-elle une onde longitudinale ou transversale ? Justifier la réponse.
- 3) La lumière est une onde progressive périodique mais elle n'est pas mécanique.

a- Citer un fait expérimental qui permet de décrire la lumière comme une onde.

b- Quelle observation permet de montrer que la lumière n'est pas une onde mécanique ?

II- Détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans l'eau.

La célérité des ultrasons dans l'air $v_{\text{air}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$ est plus faible que la célérité des ultrasons dans l'eau de mer v_{eau} .

Un émetteur produit simultanément des salves d'ondes ultrasonores dans un tube

rempli d'eau de mer et dans l'air (voir figure 1). À une distance d de l'émetteur d'ondes ultrasonores, sont placés deux récepteurs, l'un dans l'air et l'autre dans l'eau de mer.

Le récepteur A est relié à l'entrée A du système d'acquisition d'un ordinateur et le récepteur B à l'entrée B. L'acquisition commence lorsqu'un signal est reçu sur l'entrée B du système.

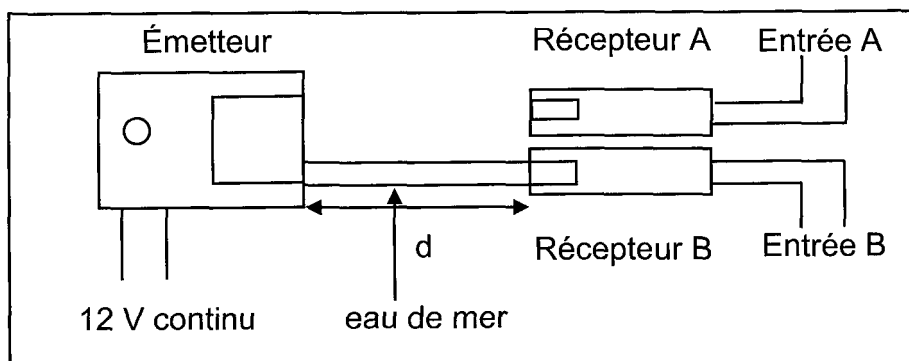
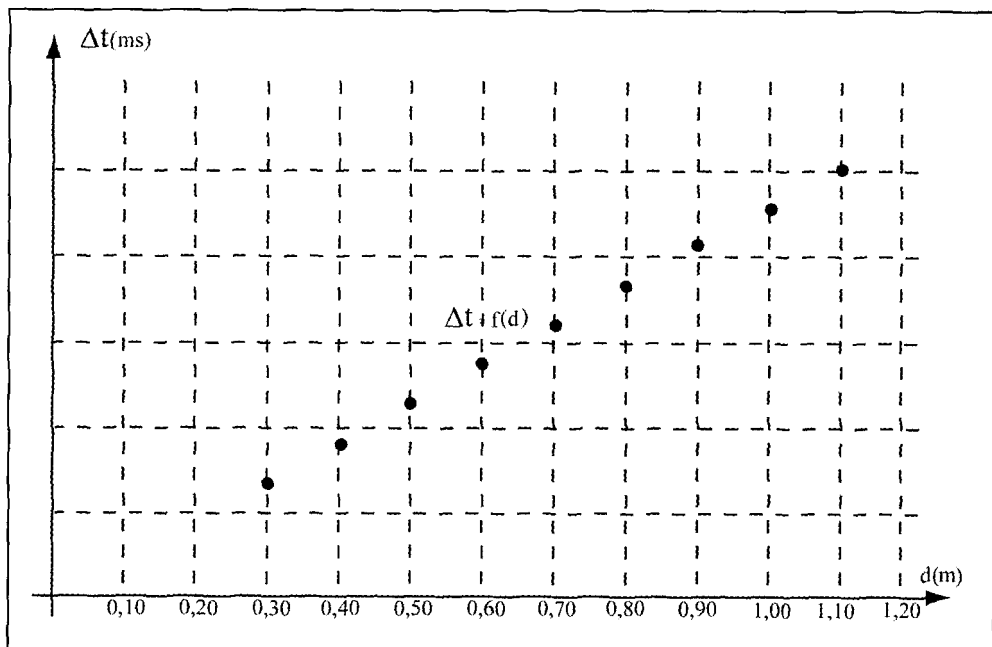


Figure 1

- 1) Pourquoi est-il nécessaire de déclencher l'acquisition lorsqu'un signal est reçu sur l'entrée B ?

2) Donner l'expression du retard Δt entre la réception des ultrasons par les deux récepteurs en fonction de t_A et t_B , durées que mettent les ultrasons pour parcourir respectivement la distance d dans l'air et dans l'eau de mer.

3) On détermine Δt pour différentes distances d entre l'émetteur et les récepteurs. On traite les données avec un tableur et on obtient le graphe $\Delta t = f(d)$ ci-dessous.



a- Donner l'expression de Δt en fonction de d , v_{air} , v_{eau} .

b- Justifier l'allure de la courbe obtenue.

c- Déterminer graphiquement le coefficient directeur de la droite $\Delta t = f(d)$.

En déduire la valeur de la célérité v_{eau} des ultrasons dans l'eau de mer en prenant $v_{\text{air}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

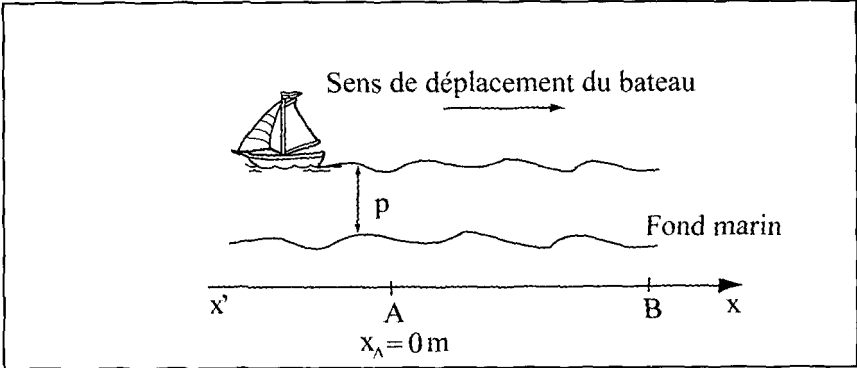
III- Détermination du relief des fonds marins.

Dans cette partie on prendra $v_{\text{eau}} = 1,50 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1}$.

Un sondeur acoustique classique est composé d'une sonde comportant un émetteur et un récepteur d'onde ultrasonore de fréquence $f = 200 \text{ kHz}$ et d'un boîtier de contrôle ayant un écran qui visualise le relief des fonds sous-marins.

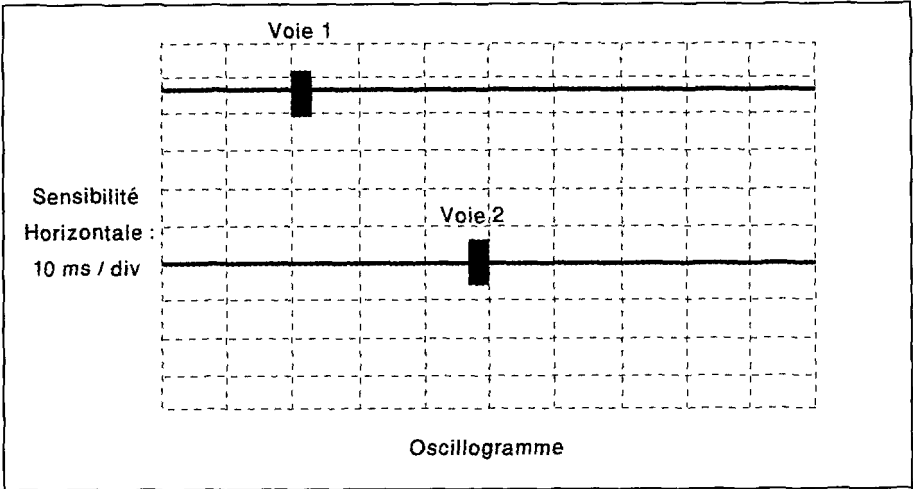
La sonde envoie des salves d'ultrasons verticalement en direction du fond à des intervalles de temps réguliers ; cette onde ultrasonore se déplace dans l'eau à une vitesse constante v_{eau} . Quand elle rencontre un obstacle, une partie de l'onde est

réfléchi et renvoyée vers la source. La détermination du retard entre l'émission et la réception du signal permet de calculer la profondeur p .
Un bateau se déplace en ligne droite suivant un axe $x'x$ en explorant le fond depuis le point A $x_A \approx 0$ m jusqu'au point B $x_B = 50$ m (figure 2).
Le sondeur émet des salves d'ultrasons à intervalles de temps égaux, on mesure à l'aide d'un oscilloscope la durée Δt séparant l'émission de la salve de la réception de son écho.

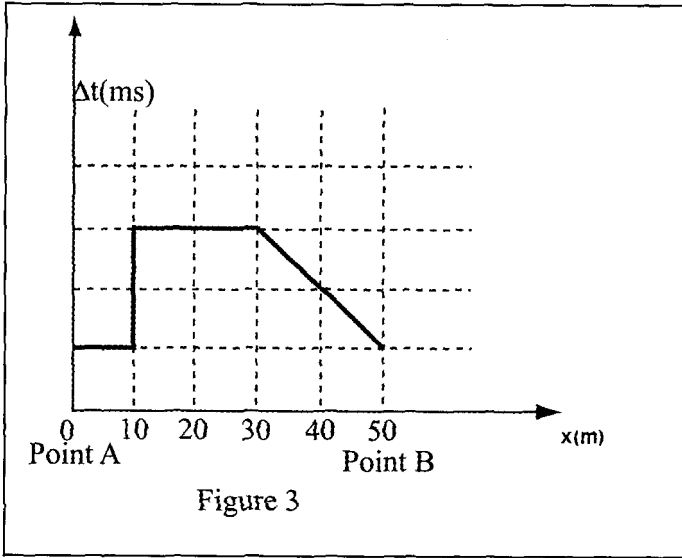


1) L'oscillogramme ci-dessous montre l'écran d'un oscilloscope lorsque le bateau se trouve en A ($x_A = 0$ m). L'une des voies représente le signal émis, l'autre le signal reçu par le récepteur.

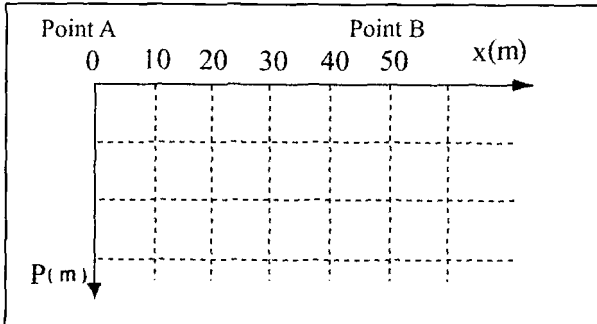
Sur l'oscillogramme, on a décalé la voie 2 vers le bas pour distinguer nettement les deux signaux.



La figure 3 représente $\Delta t = f(x)$ lorsque le bateau se déplace de A vers B.



- a- Identifier les signaux observés sur chaque voie, en justifiant.
 - b- À partir de l'oscillogramme, déterminer la durée Δt entre l'émission de la salve et la réception de son écho.
 - c- En déduire la graduation de l'axe des ordonnées de la figure 3 représentant la durée Δt en fonction de la position x du bateau.
- 1) Déterminer la relation permettant de calculer la profondeur p en fonction de Δt et v_{eau} .
 - 2) Tracer sur la figure 4 l'allure du fond marin exploré en précisant la profondeur p en mètres en fonction de la position x du bateau.
 - 3) Le sondeur envoie des salves d'ultrasons à intervalles de temps réguliers T . Pour une bonne réception, le signal émis et son écho ne doivent pas se chevaucher. Le sondeur est utilisable jusqu'à une profondeur de 360 m. Déterminer la période minimale T_m des salves d'ultrasons permettant ce fonctionnement.



Corrigé



1) Il s'agit d'une onde transversale car la direction du mouvement des points de la corde est perpendiculaire à la direction de la propagation.

$$2) \lambda = v.T \Rightarrow \lambda = \frac{v}{N} = \frac{10}{50} = 0,2m$$

3) a- $N_e = 50Hz = N \Rightarrow$ La corde paraît sous la forme d'une sinusoïde fixe (immobile).

Ce phénomène est observé généralement par $T_e = kT \Leftrightarrow N_e = \frac{N}{k}; k \in \mathbb{N}^*$

b- N_{e2} est légèrement inférieur à N

La corde paraît sous la forme d'une sinusoïde qui progresse ou ralentit dans le sens réel du mouvement. Ce phénomène est observé d'une façon générale lorsque

T_e est légèrement supérieur à $kT \Leftrightarrow N_e$ est légèrement inférieur à $\frac{N}{k}; k \in \mathbb{N}^*$

RQ :

* Lorsque T_e est légèrement inférieur à kT

$\Leftrightarrow N_e$ est légèrement supérieur à $\frac{N}{k}; k \in \mathbb{N}^*$

La corde paraît sous la forme d'une sinusoïdale qui se déplace au ralenti dans le sens inverse du mouvement.

* La plus grande fréquence des éclairs qui permet d'avoir l'immobilité apparente de la lame et obtenue par $k=1 \Rightarrow N_e = N$

$$4) a- y_M(t) = y_s(t - \theta) \text{ avec } \theta = \frac{x}{v}$$

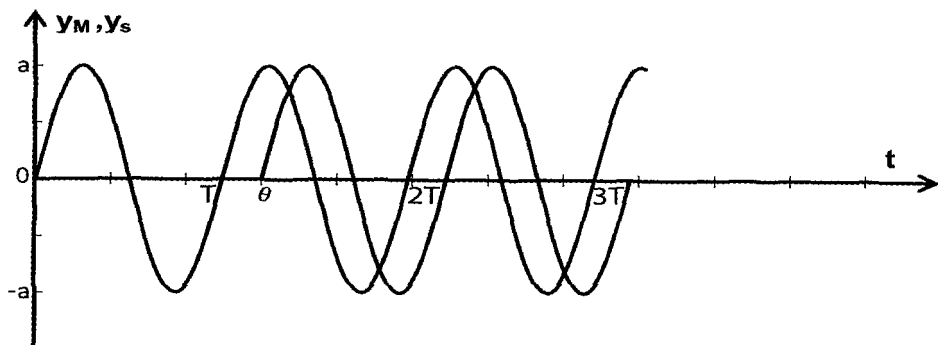
$$y_M(t) = a \sin[\omega(t - \theta) + \varphi_s] \\ = a \sin(\omega t - \omega \theta)$$

$$y_M(t) = a \sin\left[\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{T}\frac{x}{v}\right] = a \sin\left[\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right]$$

$$\Rightarrow \begin{cases} y_M(t) = 3.10^{-3} \sin(2\pi Nt - \underbrace{\frac{2\pi \times 0,25}{0,2}}_{-2,5\pi = 0,5\pi = -\frac{\pi}{2}}) \text{ si } t \geq \theta \\ y_M(t) = 0 \text{ si } t < \theta \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} y_M(t) = 3.10^{-3} \sin(100\pi t - \frac{\pi}{2}) \text{ si } t \geq \theta \\ y_M(t) = 0 \text{ si } t < \theta \end{cases}$$

$$b- \frac{\theta}{T} = \frac{x}{V.T} = \frac{0,25}{0,2} = 1,25 \Rightarrow \theta = 1,25T$$



$$\varphi_M - \varphi_s = -\frac{\pi}{2}$$

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

$$5) a- x_F = V.t = 10 \times 2 = 20m > L$$

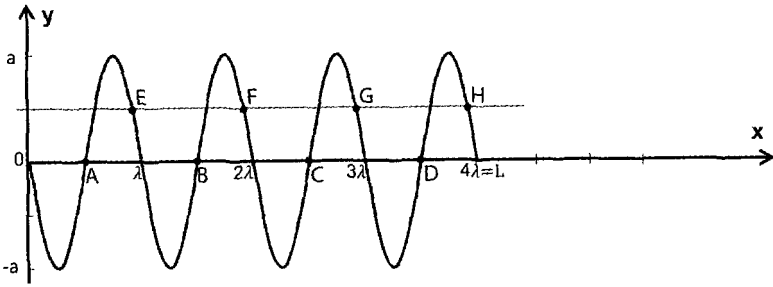
$\Rightarrow$ Toute la corde est affectée par l'onde L'aspect de la corde est donné par

$$y_t(x) = 3.10^{-3} \sin(100\pi \times 2 - \frac{2\pi x}{\lambda}) = 3.10^{-3} \sin\left(-\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

$$\lambda = 20cm$$

$$L = 80cm = 4\lambda$$

b-



Point	A	B	C	D
X(cm)	10	30	50	70

Par calcul :

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

$$y_s(t) = a \sin(\omega t) \Rightarrow \varphi_s = 0$$

$$\varphi_M - \varphi_s = -\frac{2k\pi}{\lambda}$$

$$\varphi_M - \varphi_s = \pi - 2k\pi$$

$$-\frac{2k\pi}{\lambda} = \pi - 2k\pi$$

$$-\frac{1}{\pi} \times \frac{2x}{\lambda} = -1 + 2k$$

$$x = \left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$0 < x < L$$

$$0 < \left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda < L$$

$$\frac{1}{2} < k < \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{2}$$

$$0,5 < k < 4,5$$

$$\Rightarrow 1 \leq k \leq 4 \Rightarrow \exists 4 - 1 + 1 = 4 \text{ pts}$$



$$\begin{aligned}
 1) y_M(t) &= y_s(t - \theta) \\
 &= a \sin[\omega(t - \theta) + \varphi_s] \\
 &= a \sin(\omega t + \omega\theta + \varphi_s)
 \end{aligned}$$

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

Dans ce cas $\varphi_s = 0$;

$$\text{D'où } \begin{cases} y_M(t) = 10^{-3} \sin(200\pi t - \frac{2\pi x}{\lambda}) & \text{si } t \geq \theta \\ y_M(t) = 0 & \text{si } t < \theta \text{ avec } \theta = \frac{x}{v} \end{cases}$$

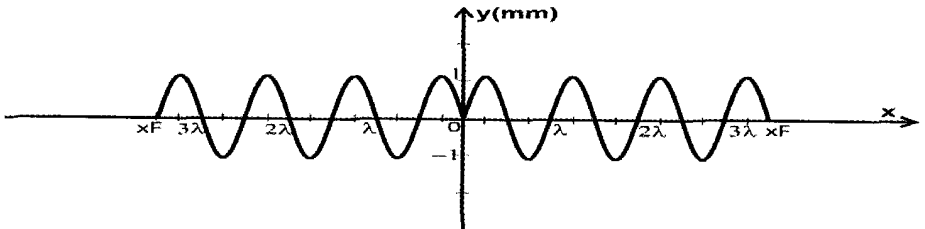
2) La plus petite distance entre deux points qui vibrent en opposition de phase est $d = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2d = 4\text{mm}$

$$3) A t_1 = 0,035\text{s}; \quad v = \frac{\lambda}{T} = \lambda N = 4 \cdot 10^{-3} \times 100 = 0,4\text{m/s}$$

$$x_F = v \cdot t_1 = 0,4 \times 0,035\text{s} = 14 \cdot 10^{-3}\text{m}$$

$$\frac{x_F}{\lambda} = 3,5 \Rightarrow x_F = 3,5\lambda$$

D'où le graphe suivant



$$4) y_{M_1}(t) = 10^{-3} \sin(200\pi t - \frac{2\pi \cdot 4}{\lambda}) \text{ si } t \geq \theta$$

$$V_{M_1} = \frac{dy_{M_1}}{dt} = 200\pi \times 10^{-3} \cos(200\pi t)$$

A la date $t_1 = 0,035$

$$V_{M_1} = 0,2\pi \cos(200\pi \times 3,5 \cdot 10^{-2}) = -0,628\text{m.s}^{-1}$$



1) La courbe I représente le diagramme du mouvement du point A car son mouvement débute après un retard de temps θ .

La courbe II représente l'aspect de la corde à la date t_1 car juste la première partie de la corde qui est affectée par l'onde.

$$T = 4 \times 5 \times 10^{-3} \text{ s} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ s} = T$$

$$\lambda = 4 \times 5 \text{ cm} = 20 \text{ cm} = 20 \cdot 10^{-2} \text{ m} = \lambda$$

$$a = 4 \text{ mm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$2) V = \frac{\lambda}{T}$$

$$AN \quad V = \frac{20 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-2}} = 10 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\theta_A = \frac{x_A}{V}; \quad x_A = \theta_A \times V$$

$$AN \quad x_A = 25 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$t_1 = \frac{x_F}{V} = \frac{8 \times 5 \cdot 10^{-2}}{10} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

3) 1^{ère} méthode : à partir de (II)

$$y_s(t) = a \sin(\omega t_1 + \varphi_s)$$

$$\text{à } t_1 \Rightarrow y_s = 0 \Rightarrow \sin(\omega t_1 + \varphi_s) = 0$$

$$\omega t_1 + \varphi_s = 0$$

$$\text{ou } \omega t_1 + \varphi_s = \pi$$

$$\text{or } v_s > 0 \Rightarrow \cos(\omega t_1 + \varphi_s) > 0$$

$$\Rightarrow \omega t_1 + \varphi_s = 0 \Rightarrow \varphi_s - \omega t_1 = -100\pi \times 4 \cdot 10^{-2}$$

$$\varphi_s = -4\pi \Rightarrow \varphi_s = 0$$

$$d'où \quad \boxed{y_s(t) = 4 \cdot 10^{-3} \sin(100\pi t)}$$

2^{ème} méthode : $y_A(t) \rightarrow y_s(t)$

$$\begin{cases} y_A(t) = 0 & \text{si } t < \theta_A \\ y_A(t) = a \sin(\omega t + \varphi_A) & \text{si } t \geq \theta_A \end{cases}$$

$$\text{à } t = \theta_A \Rightarrow y_A = 0$$

$$\sin(\omega \theta_A + \varphi_A) = 0 \Rightarrow \omega \theta_A + \varphi_A = 0 \text{ ou } \omega \theta_A + \varphi_A = \pi$$

$$\text{or } V_A > 0 \Rightarrow \omega \theta_A + \varphi_A = 0 \Rightarrow \varphi_A = -\omega \theta_A$$

$$\text{AN } \varphi_A = -100\pi \times 5 \times 5 \times 10^{-3} = -2,25\pi$$

$$\boxed{\varphi_A = -\frac{\pi}{2}}$$

$$d'où y_A(t) = 4.10^{-3} \sin(100\pi t - \frac{\pi}{2})$$

$$y_s(t) = y_A(t + \theta)$$

$$= 4.10^{-3} \sin(\omega(t + \theta) + \varphi_A)$$

$$= 4.10^{-3} \sin[100\pi t + \omega\theta + \varphi_A]$$

$$y_s(t) = 4.10^{-3} \sin(100\pi t)$$

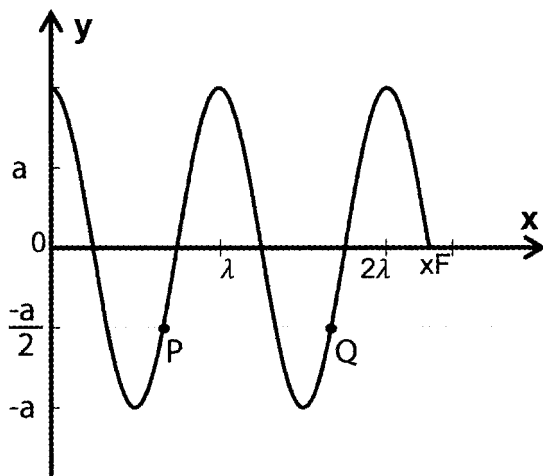
$$\varphi_s - \varphi_A = \frac{\pi}{2}$$

Remarque :

$\Rightarrow$ S vibre en quadrature avance de phase par rapport à A.

$$4)a- x_F = V.t_2 = 10 \times 4,5.10^{-2} = 4,5.10^{-1} m$$

$$\frac{x_F}{\lambda} = \frac{4,5.10^{-2}}{20.10^{-2}} = 2,25 \Rightarrow x_F = 2,25\lambda$$



b- voir figure :

$$5) y_s(t) = a \sin(\omega t + \varphi_s)$$

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

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

$$= a \sin \left(\omega t - \underbrace{\frac{2\pi x}{\lambda}}_{\varphi_M} + \varphi_s \right)$$

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

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

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

$$0 < x < l$$

$$0 < k + \frac{1}{4} < l$$

$$-\frac{1}{4} < k < \frac{l}{\lambda} - \frac{1}{4}$$

$$-0,25 < k < 4,75$$

$$0 \leq k \leq 4 \Rightarrow \exists 5 \text{ pts}$$

k	0	1	2	3	4
X(m)	5	25	45	65	85



$$1) a- x_F = V t_1 \Rightarrow V = \frac{x_F}{t_1} = \frac{8 \times 3.10^{-3}}{0,04} = 0,6 m.s^{-1}$$

$$b- \lambda = 4 \times 3 mm = 12 mm$$

$$V = \frac{\lambda}{T} = \lambda N \Rightarrow N = \frac{V}{\lambda} = 50 Hz$$

$$2) y_s(t) = a \sin(\omega t + \varphi_s)$$

$$a = 2 mm$$

$$\omega = 2\pi N = 100\pi rad.s^{-1}$$

$$\text{A la date } t_1 \quad y_s = 0 \Rightarrow \sin(\omega t_1 + \varphi_s) = 0$$

$$\Rightarrow \omega t_1 + \varphi_s = 0 \text{ ou } \omega t_1 + \varphi_s = \pi \text{ or d'après le graphe } V_s(t_1) < 0$$

$$\Rightarrow \omega t_1 + \varphi_s = \pi \Rightarrow \varphi_s = \pi - \omega t_1; \text{ AN } \varphi_s = \pi - 100\pi \times 4.10^{-2} = -3\pi$$

$$\Rightarrow \varphi_s = \pi$$

$$d'ou y_s(t) = 2.10^{-3} \sin(100\pi t + \pi)$$

Remarque :

- En regardant le front de l'onde on peut dire que $\varphi_s = \pi$ (creux)
- On peut déterminer φ_s en utilisant l'équation d'un point M dans le cas général.

$$y_{t_1}(x) = 2.10^{-3} \sin(100\pi.4.10^{-2} - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_s)$$

Pour le point M d'abscisse $x = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow y_{M_1} = 2.10^{-3} m$

$$\Rightarrow \sin(4\pi - \frac{2\pi\lambda}{4\lambda} + \varphi_s) = 1 \Rightarrow \varphi_s + 4\pi - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2}$$

d'où $\varphi_s = \pi$

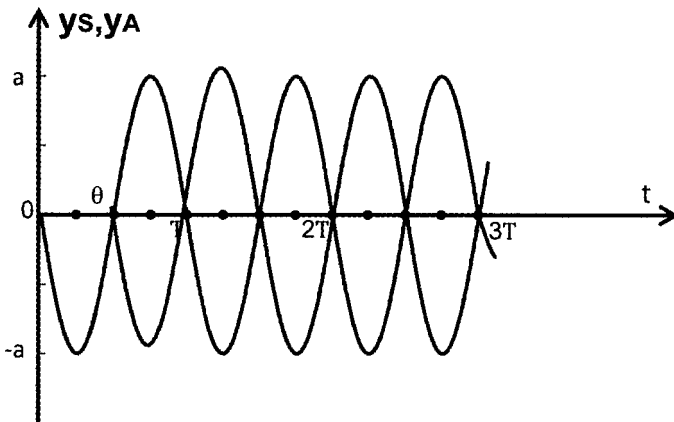
3) Les points de la surface de l'eau atteints par l'onde au même instant t sont situés sur un cercle de centre s et de rayon r.

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

$$\begin{cases} y_M(t) = 2.10^{-3} \sin(100\pi t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \pi) & \text{si } t \geq \theta \\ y_M(t) = 0 & \text{si } t < 0 \end{cases}$$

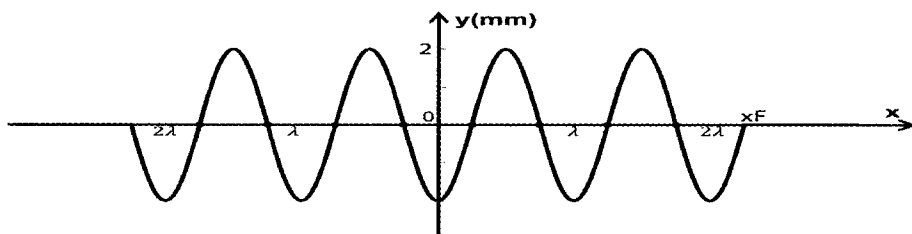
5) A et B sont séparés par $\frac{3}{2}\lambda \Rightarrow$ A et B vibrent en opposition de phase.

6) A est située à $\frac{\lambda}{2}$ de s donc l'onde met $\theta = \frac{T}{2}$ pour atteindre A.



$$7) x_F = v.t_2 = 0,6 \times 4,5.10^{-2} = 27.10^3 m$$

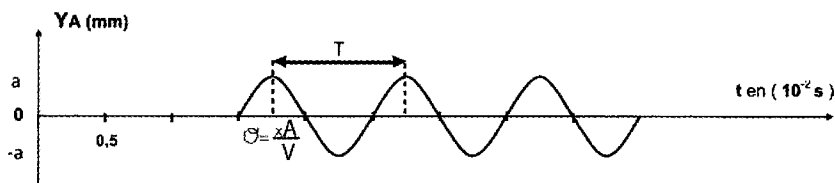
$$\frac{x_F}{\lambda} = 2,25 \Rightarrow x_F = 2,25\lambda$$



Remarque :

$t_2 - t_1 = 5.10^{-3} = \frac{T}{4}$ donc il suffit de translater la sinusoïde représentée à la date

t_1 de $\frac{\lambda}{4}$ vers l'avant (dans le sens de propagation)



$$1) T = 0,5 \times 2.10^{-2} = 10^{-2} s$$

$$\theta = \frac{x_A}{V} \Rightarrow V = \frac{x_A}{\theta} = \frac{12.10^2}{1,5.10^{-2}} = 8m.s^{-1}$$

$$\lambda = V.T = 8.10^{-2} m$$

$$2) \begin{cases} y_A(t) = 0 & \text{si } t < \theta \\ y_A(t) = a \sin(\omega t + \varphi_A) & \text{si } t \geq \theta \end{cases}$$

$$a = 4.10^{-3} m$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 200\pi \text{ rad.s}^{-1}$$

$$A \text{ t} = \theta \Rightarrow y_A = 0 \Rightarrow a \sin(\omega\theta + \varphi_A) = 0$$

$$\Rightarrow \sin(\omega\theta + \varphi_A) = 0 \quad \text{ou} \quad \Rightarrow \omega\theta + \varphi_A = \pi$$

$$\text{Or } y_A \text{ est croissante} \Rightarrow \cos(\omega\theta + \varphi_A) > 0$$

$$\Rightarrow \omega\theta + \varphi_A = 0 \Rightarrow \varphi_A = -\omega\theta = -200\pi \times 1,5 \cdot 10^{-2} = -3\pi$$

$$\varphi_A = \pi$$

$$d'où \quad \begin{cases} y_A(t) = 0 \text{ si } t < \theta \\ y_A(t) = 4 \cdot 10^{-3} (200\pi t + \pi) \text{ si } t \geq \theta \end{cases}$$

$$3) \quad y_A(t) = y_s(t - \theta)$$

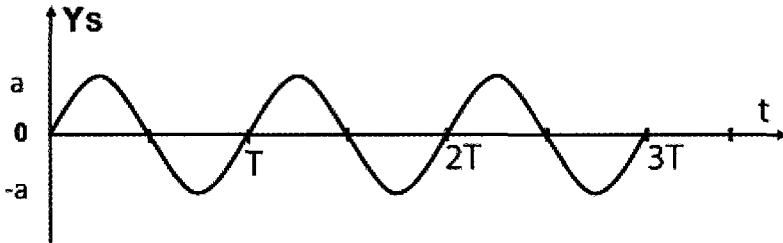
$$y_s(t) = y_A(t + \theta)$$

$$= 4 \cdot 10^{-3} \sin(200\pi t + 200\pi\theta + \pi)$$

$$y_s(t) = 4 \cdot 10^{-3} \sin(200\pi t + \underbrace{200\pi \times 1,5 \cdot 10^{-2} + \pi}_{4\pi})$$

$$\Rightarrow y_s(t) = 4 \cdot 10^{-3} \sin(200\pi t)$$

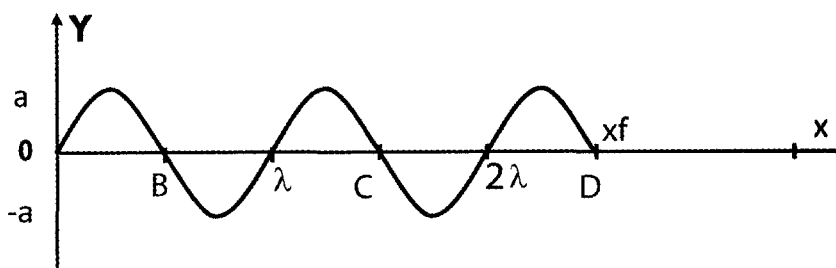
4) a-



b- $\varphi_A - \varphi_s = \pi \Rightarrow A$ est S vibrent en opposition de phase.

$$5) \text{ a- } x_F = V \cdot t_1 = 8 \times 2,5 \cdot 10^{-2} = 20 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\frac{x_F}{\lambda} = \frac{20 \cdot 10^{-2}}{8 \cdot 10^{-2}} = 2,5 \Rightarrow x_F = 2,5\lambda$$



b- Les points ayant une élongation nulle et une vitesse positive se trouvent sur l'axe des abscisses (x) et sur des pentes négatives.

Point	B	C = A	D
X(cm)	4	12	20



1) 1^{ère} méthode :

L'onde parcourt une distance $= \lambda$ pendant une période de temps T.

D'après le graphique l'onde a parcouru 3λ donc elle a mis une durée $= 3T$

$$\Rightarrow t = 3T \Rightarrow T = \frac{t}{3} = 0,01s$$

$$N = \frac{1}{T} = 10^2 Hz$$

2^{ème} méthode :

$$x_F = V.t$$

$$\text{avec } x_F = 3\lambda \text{ et } v = \frac{\lambda}{T} = \lambda.N$$

$$3\lambda = \lambda N.t \Rightarrow N = \frac{3}{t} = 10^2 Hz$$

$$\text{b- } y_0(t) = a \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$a = 2mm = 2.10^{-3}m$$

$$\omega = 2\pi N = 200\pi rad.s^{-1}$$

$\varphi_0 = \pi$ car le front d'onde est un creux

$$\text{d'où } y_0(t) = 2.10^{-3} \sin(200\pi t + \pi)$$

RQ : On peut déterminer φ_0 à partir de $y_0(t)$

$$\text{à } t=0,03\text{s} \quad y_0 = 0 \Rightarrow a \sin(\omega t + \varphi_0) = 0$$

$$\Rightarrow \omega t + \varphi_0 = 0 \quad \text{ou} \quad \omega t + \varphi_0 = \pi$$

$$\text{or } V_0 < 0 \Rightarrow \omega t + \varphi_0 = \pi \Rightarrow \varphi_0 = \pi - \omega t$$

$$\text{AN } \varphi_0 = \pi - 200\pi \times 0,03 = -5\pi$$

$$\varphi_0 = \pi \text{ rad}$$

c- A la date $t=0,03\text{s}$ on observe 3 rides circulaires correspondants à des crêtes.

2)a- *La nature : onde transversale car la direction de mouvement du morceau de liège est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.

* La propagation : il y'a propagation de l'énergie et non pas de la matière.

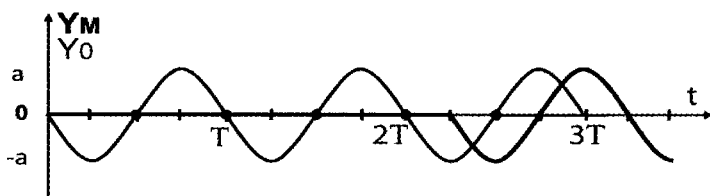
$$\text{b- } y_M(t) = y_0(t - \theta) \text{ avec } \theta = \frac{x}{v}$$

$$= a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_0\right) \text{ si } t \geq \theta$$

$$y_M(t) = 2.10^{-3} \sin\left(200\pi t - \frac{2\pi 22,5}{10} + \pi\right) \text{ si } t \geq \theta$$

$$\begin{cases} y_M(t) = 2.10^{-3} \sin\left(200\pi t + \frac{\pi}{2}\right) & \text{si } t \geq \theta \\ y_M(t) = 0 & \text{si } t < 0 \end{cases}$$

c-



$$\frac{\theta}{T} = \frac{x}{v \cdot T} = \frac{x}{\lambda} = \frac{22,5}{10} = 2,25 \Rightarrow \theta = 2,25T$$

$$\text{d/ } V_M = \frac{dy_M}{dt} = \omega a \cos(\omega t + \varphi_M)$$

$$V_m(M) = \omega a = 200\pi \times 2.10^{-3} = 1,25\text{m.s}^{-1}$$

$$3) \varphi_M - \varphi_{M'} = \frac{-2\pi}{\lambda} (x_M - x_{M'})$$

$$= \frac{-2\pi}{10} (22,5 - 35) = 2,5\pi = \frac{\pi}{2}$$

M vibre en quadrature avance de phase par rapport à M'.



$$1)a- N = \frac{1}{T}; \quad T = 2 \cdot 10^{-2} s$$

$$N = \frac{1}{2 \cdot 10^{-2}} = 50 \text{ Hz}$$

$$b- \theta = \frac{x}{v} \Rightarrow x = v \cdot \theta$$

$$\text{Graphiquement : } \theta = 2,5 \cdot 10^{-2} s$$

$$x = 0,4 \times 2,5 \cdot 10^{-2} = 10 \cdot 10^{-3} m$$

$$2) y_s(t) = a \sin(\omega t - \varphi_s)$$

$$a = 2 \text{ mm}$$

$$\omega = 2\pi N = 100 \text{ rad} \cdot s^{-1}$$

$$a \ t=0 \quad y_s = 0 \Rightarrow a \sin \varphi_s = 0$$

$$\Rightarrow \sin \varphi_s = 0 \Rightarrow \varphi_s = 0 \text{ ou } \varphi_s = \pi$$

$$\text{or } y_s \text{ est croissante} \Rightarrow \varphi_s = 0$$

$$d'où y_s(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(100\pi t)$$

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

$$= a \sin[\omega(t - \theta) + \varphi_s]$$

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

$$\text{ainsi} \begin{cases} y_M(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(100\pi t - 100\pi \times 2,5 \cdot 10^{-2}) & \text{si } t \geq \theta \\ y_M(t) = 0 & \text{si } t < 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} y_M(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(100\pi t - \frac{\pi}{2}) & \text{si } t \geq \theta \\ y_M(t) = 0 & \text{si } t < \theta \end{cases}$$

3)a- La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde pendant une période de vibration de la source.

$$\Rightarrow \lambda = v \cdot T = \frac{V}{N}$$

$$b- \lambda = \frac{V}{N} = \frac{0,4}{50} = 8.10^{-3} m$$

$$4)a- \varphi_M - \varphi_S = -\frac{\pi}{2} \Rightarrow M \text{ vibre en quadrature retard de phase par rapport à } S.$$

b- Pour que M vibre en phase avec S ; il faut que

$$\varphi_M - \varphi_S = -2k\pi \text{ or } \omega\theta = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{x}{v}$$

$$-\frac{2\pi}{T} \cdot \frac{x}{v} = -2k\pi$$

$$\frac{N \cdot x}{v} = k \Rightarrow N = \frac{k \cdot v}{x}; \text{ AN } N = k \frac{0,4}{10.10^{-3}} = 40k$$

$$20 \leq N \leq 100$$

$$20 \leq 40k \leq 100$$

$$0,5 \leq k \leq 2,5$$

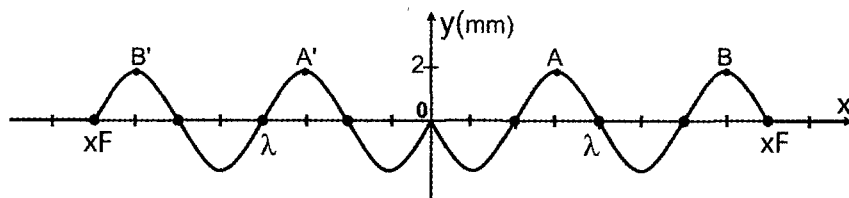
$$k = \{1, 2\}$$

K	1	2
N(Hz)	40	80

$$5) a-D'après la courbe C_2 \text{ à } t_1 = 4.10^{-2} s$$

$$y_M = -2mm \Rightarrow M \in \text{une ride creuse}$$

$$b- x_F = V \cdot t_1 = 0,4 \times 4.10^{-2} = 16.10^{-3} m$$



$$\frac{x_F}{\lambda} = \frac{16.10^{-3}}{8.10^{-3}} = 2 \Rightarrow x_F = 2\lambda$$

c- A, B, A', B' vibrent en quadrature avance de phase par rapport à S.

Point	A'	B'	A	B
x(mm)	-14	-6	6	14

$$d- \varphi_M - \varphi_S = \frac{\pi}{2} - 2k\pi$$

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

$$\frac{2x}{\lambda} = -\frac{1}{2} + 2k\pi$$

$$x = (k - \frac{1}{4})\lambda \quad k \in \mathbb{N}^*$$

$$0 \leq x \leq x_F$$

$$0 \leq (k - \frac{1}{4})\lambda \leq 2\lambda$$

$$\frac{1}{4} \leq k \leq 2 + \frac{1}{4}$$

$k \in \{1, 2\}$ il existe 2 points de chaque côté (sur la coupe transversale)

k	1	2	3	4
x(mm)	6	14	-6	-14



1) Le son est une onde longitudinale car la direction de vibration des molécules d'air est confondu avec cette de la propagation.

2) l'amplitude du son diminue en s'éloignant de la source d'où : la courbe (I) correspond au micro phone A relié à la voie Y_1 et la courbe (II) correspond au micro phone B relié à la voie Y_2 .

$$3) \quad T = \frac{1}{N} = 8 \cdot 10^{-4} s = 0,8 ms$$

Or T correspond à 8 divisions d'où $1 \text{ div} \rightarrow \frac{T}{8} = 0,1 ms$ ainsi la sensibilité horizontale est de $0,1 ms/div$.

4) Les deux points où sont placés les microphones vibrent en phase car les deux courbes (I) et (II) sont en phase.

- 5) a- Deux points qui vibrent en phase sont séparés par une distance $d = k\lambda$ avec $k \in \mathbb{N}^*$
 cherchons λ .

$$\lambda = \frac{V}{N} = \frac{340}{1,2510^3} = 0,272m \text{ soit donc } \lambda = 27,2 \text{ cm, d'où } d = \lambda \text{ ce qui confirme}$$

la réponse précédente.

- b- b_1 Pour que les deux courbes deviennent en opposition de phase il faut que

$$d = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda : \text{La distance minimale est } d = \frac{\lambda}{2} = 13,6cm$$

- b_2 : Pour que les deux points vibrent en quadrature de phase il faut que

$$d = \left(k \pm \frac{1}{4}\right)\lambda : \text{La distance minimale est } d = \frac{\lambda}{4} = 6,8cm$$

- 6) a- $N' = \frac{N}{2} \Leftrightarrow T' = 2T$

Donc la proposition (a) est fausse car la période sera multipliée par 2.

$$b- \lambda' = \frac{V}{N'} = 2 \frac{V}{N} = 2\lambda \Rightarrow \text{La proposition b est exacte.}$$

$$c- d = \lambda \text{ or } \lambda = \frac{\lambda'}{2} \Rightarrow d = \frac{\lambda'}{2}$$

Donc la proposition (c) est fausse car les deux points deviennent en opposition de phase.



I- Étude de l'onde ultrasonore dans l'eau de mer.

1) Une onde mécanique progressive est le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu sans transport de matière.

2) L'onde ultrasonore est une onde **longitudinale** car la direction de la perturbation est parallèle à la direction de propagation de l'onde.

3)

a- La lumière peut être diffractée : lorsque la lumière rencontre un obstacle ou un trou de faible dimension alors elle subit le **phénomène de diffraction**.

b- La lumière se propage dans le vide contrairement à une onde mécanique. Sur Terre, on peut recevoir la lumière émise par les étoiles après propagation dans le vide de l'espace.

II- Détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans l'eau/

1) La célérité des ultrasons est plus grande dans l'eau de mer que dans l'air. Ainsi la salve d'ultrasons émise sera reçue en premier par le récepteur B, puis ensuite par le récepteur A.

2) Les ultrasons parcourent la distance d .

Dans l'air $v_{\text{air}} = \frac{d}{t_A - t_0}$, en posant $t_0 = 0$ (instant du début de l'émission de la salve) on a $v_{\text{air}} = \frac{d}{t_A}$.

Dans l'eau de mer $v_{\text{eau}} = \frac{d}{t_B - t_0} = \frac{d}{t_B}$.

D'après l'énoncé : $v_{\text{eau}} > v_{\text{air}}$ donc $\frac{d}{t_B} > \frac{d}{t_A}$ soit $\frac{1}{t_B} > \frac{1}{t_A}$ alors $t_B < t_A$

Le récepteur B perçoit en premier les ultrasons, ensuite le récepteur A. Donc le retard Δt pour expression :

$$\Delta t = t_A - t_B$$

3)

$$a- v_{\text{air}} = \frac{d}{t_A} \text{ soit } t_A = \frac{d}{v_{\text{air}}}$$

$$D'autre part, v_{\text{eau}} = \frac{d}{t_B} \text{ soit } t_B = \frac{d}{v_{\text{eau}}} . \quad \Delta t = t_A - t_B$$

$$\text{ce qui donne } \Delta t = \frac{d}{v_{\text{air}}} - \frac{d}{v_{\text{eau}}}$$

$$\Delta t = d \cdot \left(\frac{1}{v_{\text{air}}} - \frac{1}{v_{\text{eau}}} \right)$$

b- La relation obtenue en 3.a) montre que Δt est proportionnelle à d .

La courbe représentative de d en fonction de Δt est une droite passant par l'origine, ce qui est cohérent avec cette proportionnalité.

c- Soit le point A ($d_A = 1,10 \text{ m}$; $\Delta t_A = 2,50 \text{ ms} = 2,50 \times 10^{-3} \text{ s}$)

Notons a le coefficient directeur de cette droite passant par l'origine : $\Delta t_A = a \cdot d_A$,

$$\text{alors } a = \frac{\Delta t_A}{d_A}$$

$$a = \frac{2,50 \times 10^{-3}}{1,10} = 2,27 \times 10^{-3} \text{ s.m}^{-1}$$

$$\text{Le coefficient directeur } a \text{ pour expression littérale } a = \left(\frac{1}{v_{\text{air}}} - \frac{1}{v_{\text{eau}}} \right)$$

donc $a = \left(\frac{v_{\text{eau}} - v_{\text{air}}}{v_{\text{air}} \cdot v_{\text{eau}}} \right)$ signifie $a \cdot v_{\text{air}} \cdot v_{\text{eau}} = v_{\text{eau}} - v_{\text{air}}$ d'où $a \cdot v_{\text{air}} \cdot v_{\text{eau}} - v_{\text{eau}} = -v_{\text{air}}$

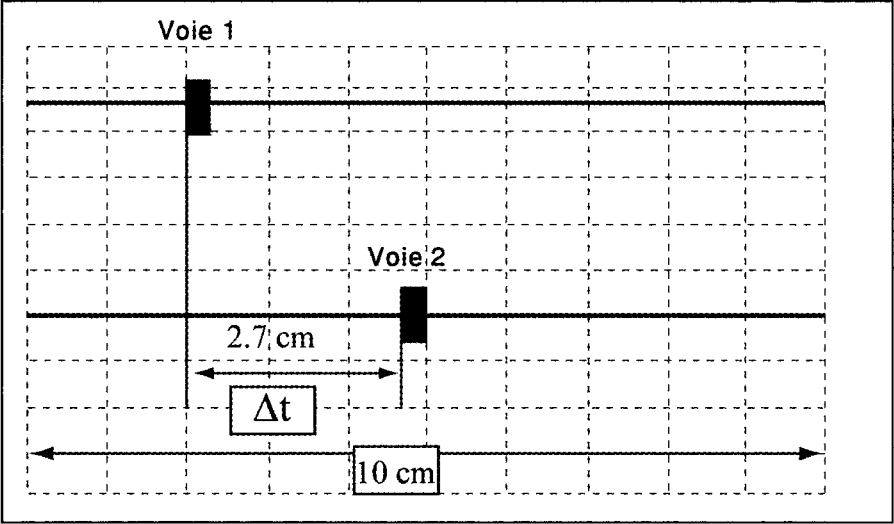
$v_{\text{eau}} (a \cdot v_{\text{air}} - 1) = -v_{\text{air}}$ alors $v_{\text{eau}} = \frac{-v_{\text{air}}}{(a \cdot v_{\text{air}} - 1)} = \frac{v_{\text{air}}}{(1 - a \cdot v_{\text{air}})}$

$v_{\text{eau}} = \frac{340}{1 - 2,27 \times 10^{-3} \times 340}$

$v_{\text{eau}} = 1,50 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1} = 1,50 \text{ km.s}^{-1}$ Ce résultat est cohérent avec celui indiqué juste après dans la partie 3.

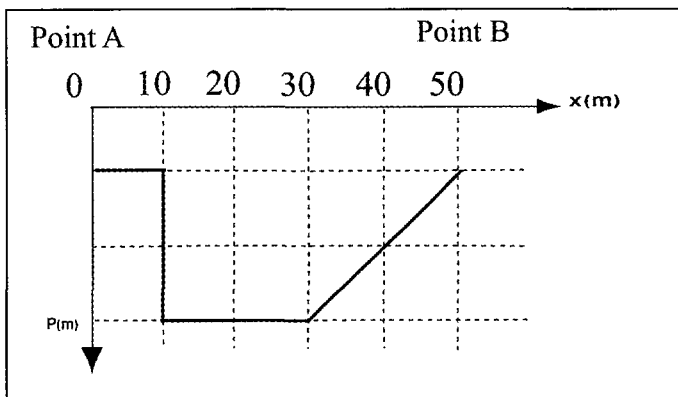
III- Détermination du relief des fonds marins :

- 1)
- a- L'émission a lieu avant la réception... donc la **voie 1** représente le **signal émis**, et la **voie 2** le **signal reçu**.
 - b- $\Delta t \rightarrow 2,7 \text{ cm}$
 $10 \times 10 \text{ ms} \rightarrow 10 \text{ cm}$
 $\Delta t = \frac{2,7 \times 10 \times 10}{10} = 27 \text{ ms} = 27 \times 10^{-3} \text{ s}$
 - c- Pour $x_A = 0 \text{ m}$, Δt correspond à un carreau verticalement.
 - d- L'échelle verticale de la figure 3 est donc **1 carreau représente 27 ms**.



2) Les ultrasons émis se dirigent vers le fond, ils parcourent la distance p ; puis ils reviennent vers le bateau et parcourent à nouveau la distance p .

$$v_{\text{eau}} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2p}{\Delta t} \quad \text{donc } p = \frac{\Delta t \cdot v_{\text{eau}}}{2}$$



3) Pour $0 < x < 10$ m : $\Delta t \rightarrow 1$ carreau

$$p = \frac{27 \times 10^{-3} \times 1,50 \times 10^3}{2} = 20 \text{ m}$$

Pour $10 < x < 30$ m : $\Delta t \rightarrow 3$ carreaux

$$p = \frac{3 \times 27 \times 10^{-3} \times 1,50 \times 10^3}{2} = 60,75 \text{ m} = 6 \times 10^1 \text{ m}$$

On peut penser que la détermination de Δt étant peu précise, l'échelle de la figure 4 est sans doute de 1 carreau pour 20 m.

Pour que le signal émis et son écho ne se chevauchent pas, il faut que l'écho soit revenu avant une durée égale à T_m , soit avant qu'un nouveau signal ne soit émis. Les ultrasons doivent parcourir la distance $2p$ en une durée inférieure à T_m .

$$v = \frac{2p}{\Delta t} \quad \text{soit } 2p = v \cdot \Delta t \quad \text{avec } \Delta t < T_m \quad \text{d'où } 2p < v \cdot T_m \text{ alors}$$

$$\frac{2p}{v} < T_m$$

$$T_m > \frac{2 \times 360}{1,50 \times 10^3} \quad \text{AN : } T_m > 0,48 \text{ s.}$$