

Série n°1

Ondes mécaniques progressives

Profs : Abdelmoula
et ZribiExercice n°1 :

Une lame vibrante impose à l'extrémité S d'une corde horizontale un mouvement transversal rectiligne et sinusoïdal d'équation $y = a \sin(100\pi t)$ avec t en secondes. La célérité de propagation des ébranlement le long de la corde est $C = 10 \text{ m.s}^{-1}$.

On néglige l'amortissement.

- 1) Calculer la fréquence N de vibration de l'extrémité S et la longueur d'onde λ de l'onde progressive se propageant le long de la corde.
- 2) a) Représenter l'aspect de la corde aux instants $t_1 = 0,02 \text{ s}$ et $t_2 = 0,05 \text{ s}$, sachant que le mouvement de l'extrémité S de cette corde commence à l'instant $t = 0 \text{ s}$.
- b) Quel est par rapport à la source S l'état vibratoire de chacun des points M_1 et M_2 distants de S respectivement $d_1 = 10 \text{ cm}$ et de $d_2 = 40 \text{ cm}$.
- 3) On éclaire la corde avec un stroboscope de fréquence $N_e = 25 \text{ Hz}$, 49 Hz et 51 Hz . Qu'observe-t-on ? Justifier.

Exercice n°2 :

A l'extrémité d'une lame, vibrant verticalement, est fixé un fil de longueur $l = 2 \text{ m}$, de masse $m = 20 \text{ g}$ soumis à une tension $|| \vec{F} || = 4 \text{ N}$.

On admettra qu'il n'y a pas de réflexions aux extrémités du fil.

La fréquence de vibration de la lame est $N = 100 \text{ Hz}$.

- 1) Quelle est la longueur d'onde de vibration ?
On rappelle que la vitesse de propagation des ondes le long d'une corde est donnée par l'expression $v = \sqrt{F/\mu}$, μ est la masse linéaire de la corde et F sa tension.
- 2) L'extrémité (S) de la lame a un mouvement sinusoïdal d'amplitude $a = 2 \text{ mm}$.
Ecrire l'équation horaire du mouvement de S ainsi que celle du point M du fil situé à la distance $SM = x = 65 \text{ cm}$.
On négligera l'amortissement. On indiquera comment sont choisis l'origine des temps et le repère spatial.
- 3) Le mouvement de S commence à $t = 0 \text{ s}$, S partant dans le sens positif.
Dessiner dans un même système d'axes, les diagrammes des mouvements de S et de M. Echelle $10 \text{ cm}/0,05 \text{ s}$; $0,5 \text{ cm}/1 \text{ mm}$
- 4) Quel est l'aspect du fil à l'instant $t = 0,0475 \text{ s}$; les conditions initiales étant les mêmes qu'à la question 3).
Echelle : * horizontalement $10 \text{ cm}/1 \text{ m}$
* verticalement $2 \text{ mm}/1 \text{ cm}$

Série n°2

Ondes mécaniques progressives

Profs : Abdelmoula
et ZribiExercice n°1 :

On néglige la réflexion et l'amortissement des ondes.

L'extrémité A d'un vibreur horizontal effectue un mouvement sinusoïdal d'amplitude $a = 2\text{mm}$ et de fréquence $N = 100\text{Hz}$. Au point A est fixée l'extrémité d'une corde horizontale tendue de longueur $AB = L = 80\text{cm}$. Le point A commence à vibrer à l'instant $t_0 = 0\text{s}$ en allant dans le sens positif.

- 1) Etablir l'équation horaire de A.
- 2) Etablir l'équation du mouvement d'un point M quelconque de la corde d'abscisse $AM = x$.
- 3) A la date $t_D = 3,5 \cdot 10^{-2}\text{s}$, le point D de la corde d'abscisse $x_D = 56\text{cm}$ entre à son tour en vibration. Calculer la célérité C des ondes le long de la corde ainsi que la longueur d'onde λ .
- 4) On considère le point E de la corde d'abscisse $x_E = AE = 24\text{cm}$.
 - a) Donner l'équation du mouvement de E et représenter $y_E(t)$.
 - b) Calculer l'élongation et la vitesse du point E aux instants $t_1 = 1,25 \cdot 10^{-2}\text{s}$ et $t_2 = 2,5 \cdot 10^{-2}\text{s}$.
- 5) Représenter l'aspect de la corde aux instants $t = 2,25 \cdot 10^{-2}\text{s}$ et $t' = 6 \cdot 10^{-2}\text{s}$.
- 6) Déterminer le nombre et les abscisses des points qui appartiennent à la corde et qui vibrent en quadrature retard de phase par rapport à A (pour $t \geq L/C$).

Exercice n°2 :

Une corde de longueur $L = 70\text{cm}$ est tendue horizontalement. L'une de ses extrémités S est liée à une lame vibrante en mouvement sinusoïdal transversal de loi horaire : $y_S(t) = a \sin(2\pi Nt + \varphi_S)$. Ce mouvement débute à $t = 0\text{s}$. On néglige l'amortissement et la réflexion des ondes.

La représentation du mouvement d'un point M_1 d'abscisse x_1 est donnée par la figure 1. Celle de l'aspect de la corde à un instant t_2 est donnée par la figure 2.

- 1) En utilisant ces deux figures, déterminer :
 - a) La fréquence N du mouvement de la lame.
 - b) La célérité de l'onde le long de la corde.
 - c) La date t_1 du début du mouvement de M_1 et son abscisse x_1 .
 - d) L'instante t_2 auquel on observe l'aspect de la corde.
- 2) a) Ecrire la loi horaire du mouvement de M_1 et de S.
b) Comparer ces deux mouvements.
- 3) a) Dédire de la figure 2, l'aspect de la corde à la date $t_3 = t_2 + \frac{1}{4} T$.
b) Déterminer graphiquement le nombre et la position des points de la corde qui ont à la date t_2 l'élongation $(-\frac{1}{2}a)$ en allant dans le sens négatif. Justifier.

Fig.1

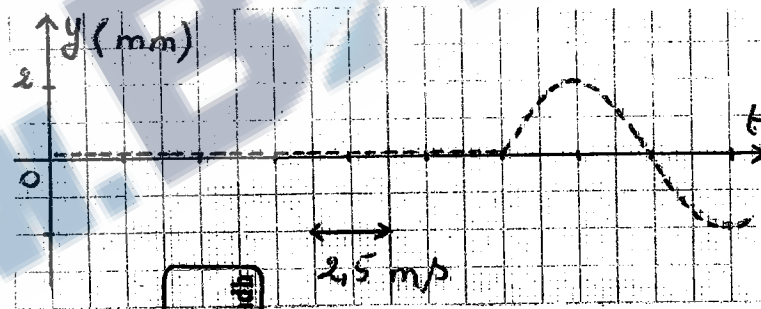
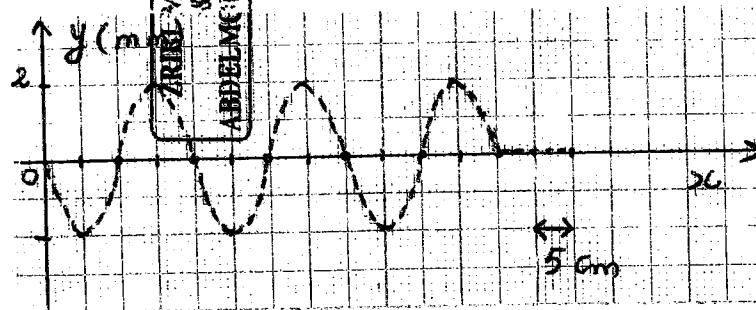


Fig.2



TRIBI Mohamed
&
ABDELMEULA Riadh

Exercice n°1 :

Une lame vibrante est animée d'un mouvement sinusoïdal de fréquence $N = 100\text{Hz}$; elle est munie d'une pointe qui détermine en un point (S) de la surface d'une nappe d'eau des vibrations transversales d'amplitude $a = 1\text{mm}$; la célérité des ondes est $C = 40\text{cm/s}$; on suppose qu'il n'y a ni réflexion ni amortissement de l'onde. La source S part initialement de sa position d'équilibre dans le sens positif à l'instant $t_1 < 0$.

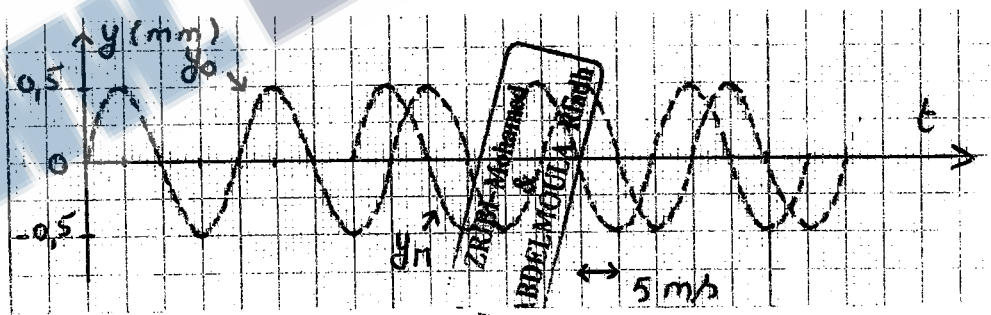
L'origine des temps $t = 0\text{s}$ est l'instant du premier passage de S par la position d'élongation $\sqrt{2}/2 \text{ mm}$ dans le sens positif.

- 1) Ecrire l'équation du mouvement de S.
- 2) Déterminer la date $t_1 < 0$ du départ de la source.
- 3) Ecrire l'équation d'un point M situé à la distance $x = 1,4\text{cm}$ de S.
- 4) Tracer sur un même système d'axes les diagrammes des mouvements de S et de M.
- 5) Représenter la coupe de la surface de l'eau par le plan vertical selon un rayon Sx à l'instant $t = 0,025\text{s}$.
- 6) On éclaire la surface de l'eau par un stroboscope dont la fréquence N_e varie de 20 à 50Hz.
 - a) Pour quelles valeurs de N_e la surface de l'eau paraît-elle immobile ?
 - b) On ramène la fréquence à 49Hz ; décrire le mouvement observé des rides.
- 7) Déterminer les lieux géométriques des points vibrants en quadrature avance par rapport à M situé à $x = 1,4\text{cm}$ de S.

Exercice n°2 :

On dispose d'une corde élastique OA de longueur $L = 75\text{cm}$ et de masse $m = 15\text{g}$ tendue horizontalement avec une tension $||\vec{F}|| = 0,5\text{N}$. L'une de ses extrémités est attachée à une lame vibrante lui imposant des vibrations sinusoïdales de fréquence N et d'amplitude a , l'autre extrémité est reliée à un milieu absorbant pour éviter toute réflexion. La figure représente dans un même système d'axes les diagrammes des mouvements de l'extrémité O et d'un point M de la corde situé à $d = OM$.

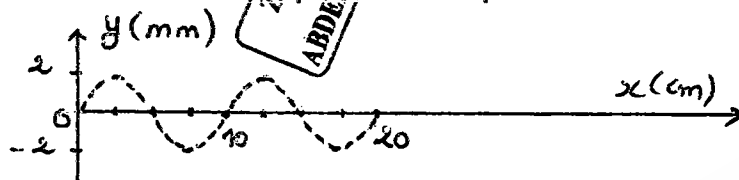
- 1) Ecrire l'équation horaire du mouvement de O et de M.
- 2) Calculer la distance d .
- 3) Comparer le mouvement de M à celui de O.
- 4) Représenter l'aspect de la corde à l'instant $t = 0,05\text{s}$.
- 5) Déterminer le nombre et les lieux des points ayant une élongation égale à $a/2$ et se déplaçant dans le sens positif à $t = 0,05\text{s}$.



I) l'extrémité S d'une lame vibrante horizontale effectue une vibration sinusoïdale d'amplitude $a = 2\text{mm}$ et de fréquence $N = 100\text{Hz}$.

Au point S est fixée l'extrémité d'une corde de longueur $L = 50\text{cm}$, tendue horizontalement. Le point S commence à vibrer à la date $t_0 = 0\text{s}$ suivant l'équation : $y_S(t) = a \sin(\omega t + \varphi_S)$

- 1) Etablir l'équation du mouvement du point M de la corde d'abscisse x .
- 2) A la date $t_1 = 2T$ la corde présente l'aspect suivant :



- a) Calculer la valeur de φ_S .
- b) Calculer la célérité V de propagation des ondes.
- 3) Par la suite on prend $\varphi_S = \pi$. Représenter dans le même repère les sinusoïdes de temps des points :

M_1 tel que $SM_1 = 12,5\text{cm}$ et M_2 tel que $SM_2 = 25\text{cm}$.

Comparer les mouvements de M_1 et M_2 .

- 4) La corde est éclairée par un stroboscope de fréquence N_e réglable. Qu'observe-t-on lorsque :

* $N_e = 50\text{Hz}$

* $N_e = 101\text{Hz}$.

- 5) Déterminer la tension de la corde sachant que sa masse est $m = 6\text{g}$.
- 6) Déterminer le nombre et la position des points qui vibrent en quadrature avance par rapport à S.

II) On change la longueur L de la corde (L est très longue) et la fréquence N . L'équation horaire d'un point M_1 de la corde est :

$y_{M_1}(t) = 10^{-2} \sin(100\pi t + \pi)(\text{m})$. L'onde se propage à la vitesse $V = 15\text{m/s}$.

- 1) Après passage en M_1 , l'onde arrive au point M_2 de la corde tel que $M_1M_2 = 7,5\text{cm}$. Déterminer l'équation horaire du mouvement de M_2 .
- 2) Sachant que M_1 entre en vibration $0,03\text{s}$ après le début du mouvement de S :
 - a) Déterminer l'équation horaire du mouvement de S.
 - b) Représenter sur le même repère les mouvements de S et de M_1 .
- 3) Soient deux points A et B de la corde situés après M_1 respectivement à la distance d_1 et d_2 de M_1 .

Exprimer le déphasage $\Delta\varphi = (\varphi_A - \varphi_B)$ en fonction de d_1 , d_2 et λ .

Déduire la relation entre d_1 et d_2 pour que A et B vibrent en quadrature de phase.

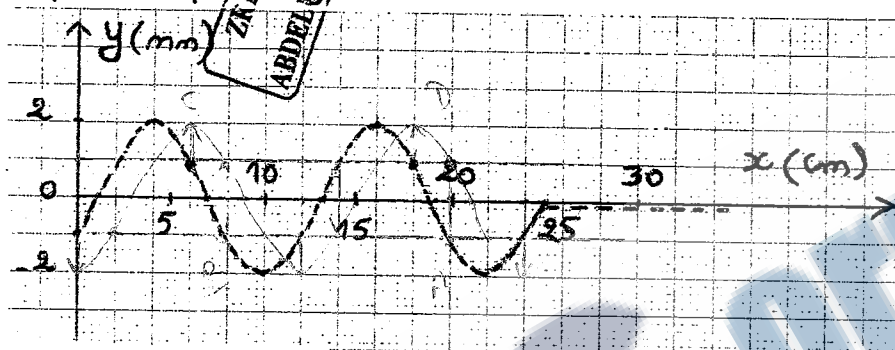
- 4) Dans cette question on prendra $y_S(t) = 10^{-2} \sin(100\pi t)$.

Représenter l'aspect de la corde à la date $t_1 = 4,5 \cdot 10^{-2}\text{s}$.

On néglige l'amortissement, la réflexion et la dilution de l'énergie dans le cas du liquide.

A- Le long d'une corde élastique tendue horizontalement, une onde progressive sinusoïdale se propage avec la célérité $C = 20 \text{ m.s}^{-1}$. (On admet qu'il n'y a pas de réflexion et pas d'amortissement).

La source (S) débute son mouvement à $t_0 = 0 \text{ s}$. L'aspect de la corde à la date t_F est représenté par la figure :



- 1) a) Déterminer la longueur d'onde λ , la fréquence N et la date t_F .
b) Etablir l'équation horaire du mouvement de la source (S).
- 2) Déterminer à l'instant t_F :
a) Les positions des points de la corde vibrant en opposition de phase par rapport à la source. Retrouver ces résultats graphiquement.
b) Les positions des points de la corde qui ont la même élongation que la source et allant dans le sens positif.
- 3) Soit un point M_1 de la corde d'abscisse $x_1 = 0,45 \text{ m}$.
a) Etablir l'équation du mouvement du point M_1 .
b) Déterminer la valeur algébrique de la vitesse du point M_1 aux instants $t_1 = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ s}$ et $t_2 = 3,15 \cdot 10^{-2} \text{ s}$.

B- Une source ponctuelle S produit en un point de la surface libre de l'eau contenue dans une cuve à onde des oscillations sinusoïdales verticales d'amplitude $a = 2 \text{ mm}$, de fréquence 40 Hz . La célérité de l'onde $V = 0,32 \text{ m.s}^{-1}$. Le mouvement de S commence à $t = 0$, à partir de la position d'équilibre dans le sens positif des élongations.

- 1) Etablir l'équation horaire du mouvement d'un point M situé à la distance x de S à la surface libre de l'eau.
- 2) Tracer le diagramme de mouvement d'un point P situé à $x = 1,8 \text{ cm}$ de S.
- 3) On éclaire la surface de la nappe d'eau par une lumière stroboscopique de fréquence $N_e = 20,5 \text{ Hz}$. Qu'observe-t-on à la surface de l'eau ?

NO TWO CASH
MILKING
NO TWO CASH

www.BAC.org.in

SECRET

En un point O de la surface libre de l'eau d'une cuve à ondes, une source ponctuelle produit des oscillations sinusoïdales verticales d'amplitude a et de fréquence N d'élongation :

$$y_0(t) = a \sin(\omega t + \varphi_0), \quad t \geq 0 \quad (y \text{ en mètre et } t \text{ en seconde}).$$

Des ondes entretenues de forme circulaire prennent naissance et se propagent à la surface de l'eau avec une célérité V .

On néglige tout amortissement des ondes et on suppose que les bords de la cuve absorbent les ondes progressives provenant de la source O.

- 1) Indiquer brièvement comment faut-il procéder pour observer des rides circulaires apparemment immobiles ?
- 2) On profite de l'immobilité apparente et on mesure la distance $AB = d$ séparant quatre crêtes consécutives. On trouve $d = 24 \text{ mm}$. Définir la longueur d'onde λ et en déduire sa valeur.
- 3) La sinusoïde traduisant l'élongation verticale $y_M(t)$ d'un point M situé à la distance d' du point O est donné par la figure 1.

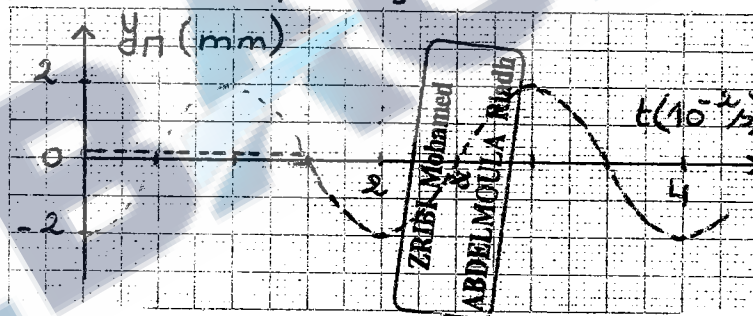


Fig.1

En déduire :

- * La célérité V de l'onde.
- * L'expression de l'élongation $y_M(t)$.

- 4) Déduire de la figure 1 la sinusoïde traduisant l'élongation verticale de la source au point O.

En s'appuyant sur cette sinusoïde établir l'expression $y_0(t)$.

- 5) Représenter graphiquement la coupe de la surface de l'eau suivant un plan vertical passant par O à l'instant $t_0 = 0,045 \text{ s}$.

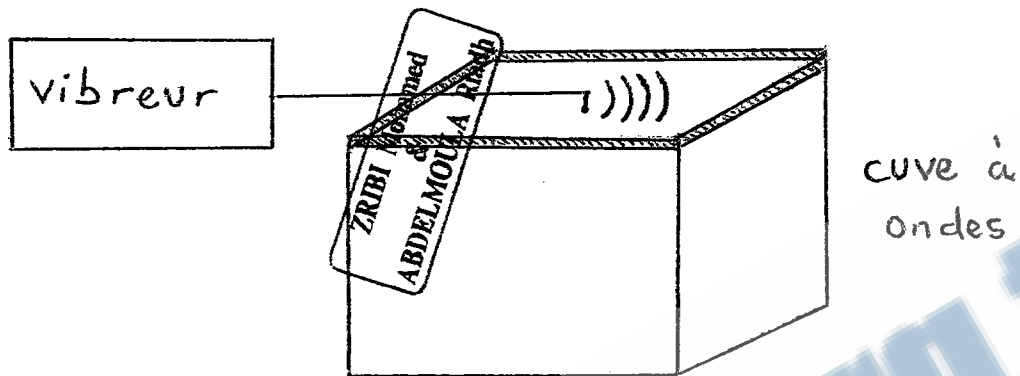
Déduire le nombre et l'abscisse des points vibrant en phase avec la source à l'instant t_0 .

- 6) On fait varier la fréquence N de la source au point O ... 50Hz et 200Hz, déterminer les valeurs possibles de N pour que le point M vibre en phase avec O.

www.BAC.org.tn

www.BAC.org.tn
BIPMUT-04/2016
S28/15/01/10/16/15/16

Un vibreur, munit d'une pointe, impose à un point S de la surface d'un liquide un mouvement vibratoire sinusoïdal, vertical de fréquence $N = 20\text{Hz}$ et d'amplitude $a = 3\text{mm}$.



Ce mouvement débute à l'origine des dates, S partant de sa position d'équilibre dans le sens négatif vers le bas.

Les vibrations se propagent à la surface d'un liquide avec une célérité $C = 0,4 \text{ m.s}^{-1}$.

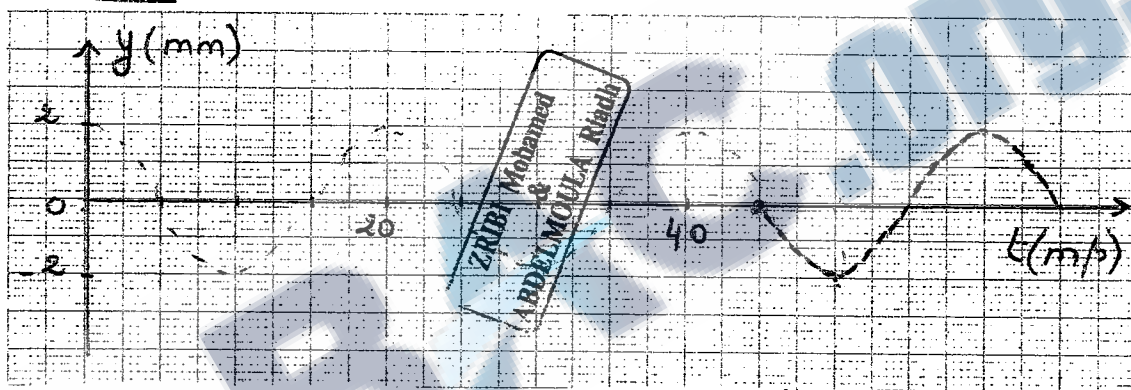
- 1) Déterminer l'équation horaire du mouvement de S.
- 2) Calculer la longueur d'onde λ de l'onde créée à la surface du liquide.
- 3) Représenter sur le même système d'axes le diagramme du mouvement de S et celui d'un point M_1 situé à la distance $d_1 = 4,5\text{cm}$ de S.
Comparer les mouvements de ces deux points.
- 4) Représenter une coupe de la surface du liquide par un plan vertical passant par S à la date $t_1 = 0,175\text{s}$.
- 5) Déterminer la position des points situés entre S et M_1 et vibrant en quadrature retard de phase avec la source S.

En un point O de la surface de l'eau d'une cuve à ondes, une source ponctuelle produit des oscillations sinusoïdales verticales d'amplitude a de fréquence N . Des ondes circulaires entretenues se propagent à la surface libre de l'eau avec la célérité C . Les bords de la cuve à ondes sont tels qu'ils absorbent les ondes progressives provenant de O en empêchant toutes réflexions. La source O commence à vibrer à partir de sa position d'équilibre à la date $t_0 = 0s$.

- 1) Expliquer la diminution de l'amplitude de vibrations lorsque l'onde s'éloigne de la source O .

Dans la suite de l'exercice, on suppose que l'amplitude des vibrations de tout point de l'eau reste constante.

- 2) On donne le diagramme du mouvement d'un point B situé à une distance $r_B = 18mm$ de la source O .



- a) Ecrire l'équation horaire du mouvement de B en précisant la date du début de son mouvement.
- b) Dédire l'équation horaire du mouvement de O .
- c) Vérifier que la célérité de l'onde est $C = 0,4m.s^{-1}$.
- 3) a) Représenter une coupe de l'eau par un plan vertical passant par O à l'instant de date $t_2 = 5,5.10^{-2}s$.
- b) Trouver par le calcul les lieux géométriques des points de la surface libre de l'eau qui passent par leurs positions d'équilibre en se déplaçant dans le sens positif à la date t_2 .
- 4) On éclaire la surface libre du liquide par un stroboscope qui émet des éclairs de fréquence N_e réglable. Indiquer avec justification les observations dans chacun des deux cas suivants :
- a) $N_e = 25Hz$.
- b) $N_e = 51Hz$.

www.BAC.org.tn

www.BAC.org.tn

Exercice n° 1 :

Un haut parleur assimilé à une source ponctuelle S est alimenté par un générateur basse fréquence. La fréquence des vibrations électriques sinusoïdales appliquées à l'entrée du haut-parleur est réglable. Les ondes sonores émises sont assimilées à des ondes sphériques ; la célérité du son a une même valeur (340 m.s^{-1}) dans toutes les directions.

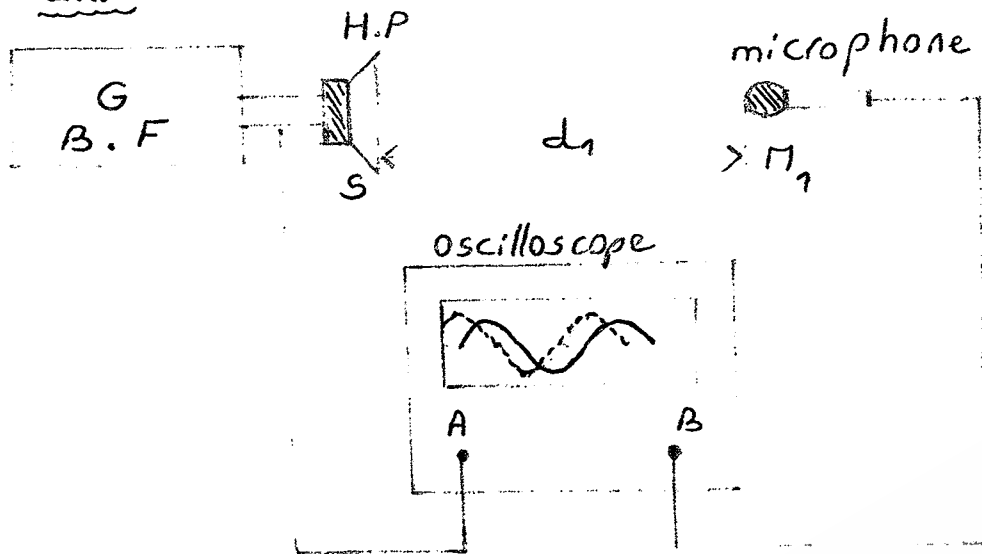
- 1) En un point M_1 situé à la distance $d_1 = 2 \text{ m}$ de S , on place un microphone, lui aussi considéré comme ponctuel.
Pour quelles valeurs de la fréquence les vibrations du haut-parleur et du microphone sont-elles en phase ? En opposition de phase ?
- 2) On fixe la fréquence à 510 Hz . Préciser le nombre et les positions des points M appartenants au segment SM_1 vibrant en phase avec M_1 .
- 3) On prend $N = 550 \text{ Hz}$. De quelles distances minimales faut-il rapprocher ou éloigner le microphone sur le segment SM_1 pour détecter une vibration sonore en phase avec la source ?

Exercice n° 2 :

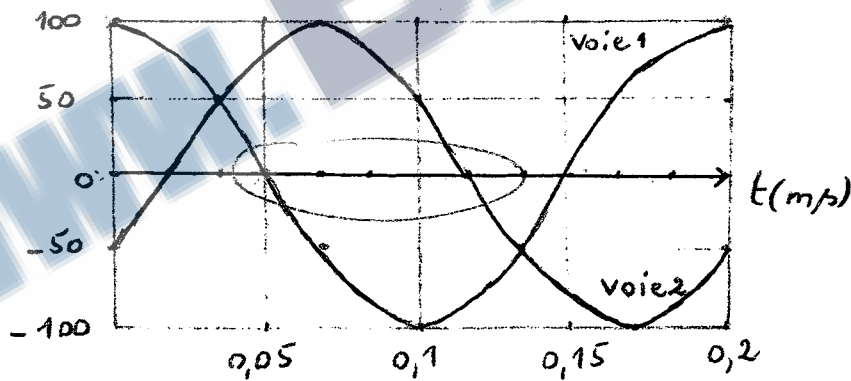
Un HP excité par un générateur B.F émet des sons de fréquence réglable. Un microphone placé à une distance x du HP est relié à la voie 2 de l'oscilloscope ; La voie 1 étant reliée au G.B.F On obtient sur l'écran de l'oscilloscope les courbes :

- 1) Déterminer la fréquence N , ainsi que le déphasage entre les deux fonctions visualisées.
- 2) On augmente progressivement la distance x entre le microphone et le HP.
Pour deux positions successives repérées par x_1 et x_2 telles que $x_2 - x_1 = 6,8 \text{ cm}$, on obtient les deux courbes en phase. En déduire :
 - * la longueur d'onde λ du son.
 - * la célérité V du son.
- 3) a) Comment peut-on vérifier expérimentalement que l'onde sonore est une onde sphérique.
b) On place le microphone en un point M situé à la distance $x_3 = 20 \text{ cm}$. Pour quelles valeurs de la fréquence les vibrations du HP et du microphone sont elles en phase ?

Ex. 1



Ex. 2



$$\Delta t \rightarrow 4 \text{ ms}$$

$$T \rightarrow 12 \text{ ms}$$

Serie (1)

Exercice n°1:

$$1) N = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{100\pi}{2\pi}$$

$$N = 50 \text{ Hz} \quad (T = 2 \cdot 10^{-2} \text{ s})$$

$$\lambda = \frac{c}{N} = \frac{10}{50} = 0,2 \text{ m}$$

$$\lambda = 20 \text{ cm}$$

2) a) Eq° de l'onde progressive:

$$y(x, t) = a \sin(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda})$$

* Eq° de la sinusoïde des espaces à $t_1 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ s} = T$

$$y_1(x) = a \sin(\omega T - \frac{2\pi x}{\lambda})$$

$$y_1(x) = -a \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \quad 0 \leq x \leq x_f = \lambda$$

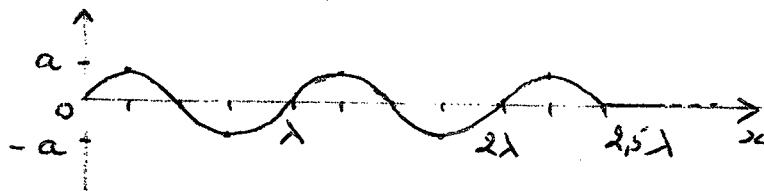


* Eq° de la sinusoïde des espaces à $t_2 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 2,5 T$

$$y_2(x) = a \sin(\omega \times 2,5 T - \frac{2\pi x}{\lambda})$$

$$y_2(x) = a \sin(\pi - \frac{2\pi x}{\lambda})$$

$$y_2(x) = a \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \quad 0 \leq x \leq x_f = 2,5\lambda$$



$$b) \Pi_1 \rightarrow d_1 = 10 \text{ cm} = \frac{\lambda}{2}$$

$$d_1 = \lambda(k + \frac{1}{2}) \text{ avec } k = 0$$

Ondes mécaniques progressives

$\Rightarrow \Pi_1$ vibre en opposition de phase par rapport à S.

$$\Pi_2 \rightarrow d_2 = 40 \text{ cm} = 2\lambda$$

$$d_2 = k\lambda \text{ avec } k = 2$$

$\Rightarrow \Pi_2$ vibre en phase par rapport à S

$$3) *) N_e = 25 \text{ Hz} = \frac{N}{2} \Rightarrow$$

$$T_e = 2T$$

Entre 2 éclaire consécutifs, chaque point effectue 2 vibrat° complète donc chaque point est éclairé ds la même posit

$\Rightarrow$ Immobilité d'une seule corde qui a la forme d'une sinusoïde.

$$*) N_e = 49 \text{ Hz} \leq N \Rightarrow T_e \geq T \Rightarrow$$

$$T_e = T + \epsilon T \quad (\epsilon \text{ très petit})$$

On observe une corde ayant la forme d'une sinusoïde en movt apparent avilanti ds le sens réel.

$$*) N_e = 51 \text{ Hz} \geq N \Rightarrow T_e \leq T \Rightarrow$$

$$T_e = T - \epsilon T \quad (\epsilon \text{ est très petit})$$

On observe une corde ayant la forme d'une sinusoïde en movt apparent avilanti ds le sens inverse.

Exercice n°2:

$$1) v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F \cdot l}{m}} = \sqrt{\frac{4 \times 2}{2 \cdot 10^{-2}}}$$

$$v = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{v}{N} = \frac{20}{100} = 0,2 \text{ m}$$

$$\lambda = 20 \text{ cm}$$

2) soit $t=0$, l'instant du début du mt de S ($x_S=0$).

$$y_S(t) = a \sin(\omega t + \varphi_S) \quad t \geq 0$$

Pour le pt M : $x = 65 \text{ cm} = 3,25 \lambda$

$$\Rightarrow \theta_M = 3,25\pi$$

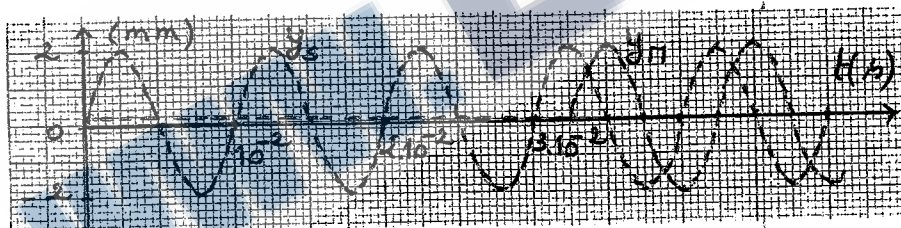
$$y_M(t) = a \sin(\omega t - \omega x 3,25\pi + \varphi_S)$$

$$y_M(t) = a \sin(\omega t + \varphi_S - \frac{\pi}{2}) : t \geq 3,25T$$

3) Le mt de S commence à $t=0$ ds le sens positif $\Rightarrow \varphi_S = 0$

$$y_S(t) = a \sin \omega t : t \geq 0$$

$$y_M(t) = a \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) : t \geq 3,25T$$



$$4) t = 4,75 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 4,75T$$

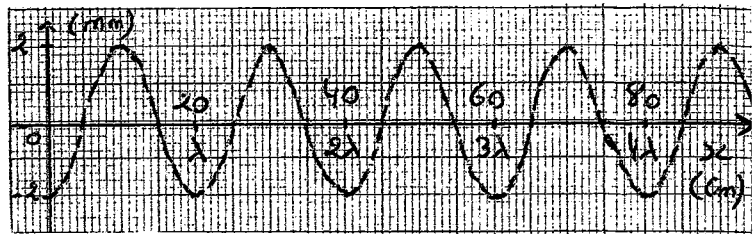
$$x_M = 4,75 \lambda < l = 10 \lambda$$

Eq° de la sinusoïde des espaces :

$$y(x) = a \sin(\omega x 4,75T - \frac{2\pi x}{\lambda})$$

$$y(x) = a \sin(-\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi x}{\lambda})$$

$$y(x) = -a \cos \frac{2\pi x}{\lambda}$$



Série (2)

Ondes mécaniques progressives

Exercice n°1,

$$1) y_A(t) = a \sin(\omega t + \varphi_A)$$

$$\text{à } t=0, y_A=0 \Rightarrow \sin \varphi_A=0 \Rightarrow \begin{cases} \varphi_A=0 \\ \varphi_A=\pi \end{cases}$$

$$\text{Or à } t=0, y'_A > 0 \Rightarrow \omega \varphi_A > 0 \Rightarrow \varphi_A=0$$

$$\text{d'où: } y_A(t) = 2.10^{-3} \sin(200\pi t) \quad t \geq 0$$

2) D'après le principe de propagation:

$$y_P(t) = y_A(t - \theta) \quad \text{avec } \theta = \frac{x}{c}$$

$$\Rightarrow y_P(t) = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) : t \geq \frac{x}{c}$$

$$3) c = \frac{x_D}{t_D} = \frac{0,56}{3,5.10^{-2}}$$

$$c = 16 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{c}{N} = \frac{16}{100} = 0,16 \text{ m}$$

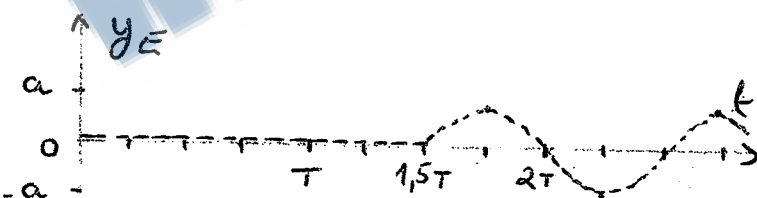
$$\lambda = 16 \text{ cm}$$

$$4) E: x_E = 24 \text{ cm} = 1,5\lambda \Rightarrow$$

$$\theta_E = 1,5T$$

$$y_E(t) = a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} \times 1,5\lambda\right)$$

$$y_E(t) = a \sin(\omega t + \pi) : t \geq 1,5T$$



$$b) *) \text{ à } t_1 = 1,25.10^{-2} \text{ s} = 1,25T$$

$$t_1 < 1,5T \Rightarrow$$

$$y_E = 0$$

$$v_{1E} = 0$$

$$*) \text{ à } t_2 = 2,5.10^{-2} \text{ s} = 2,5T.$$

$$y_{2E} = 2.10^{-3} \sin\left(\frac{\omega \times 2,5T + \pi}{6\pi = 4\pi + 2\pi}\right)$$

$$y_{2E} = 0$$

$$v_{2E} = 2.10^{-3} \times 200\pi \cos(6\pi)$$

$$v_{2E} = +1,256 \text{ m.s}^{-1}$$

$$5) \rightarrow t = 2,25.10^{-2} \text{ s} = 2,25T$$

$$x_F = 2,25\lambda < l = 5\lambda$$

$$y(x) = a \sin\left(\omega \times 2,25T - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

$$y(x) = a \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

$$y(x) = a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} : 0 \leq x \leq 2,25\lambda$$

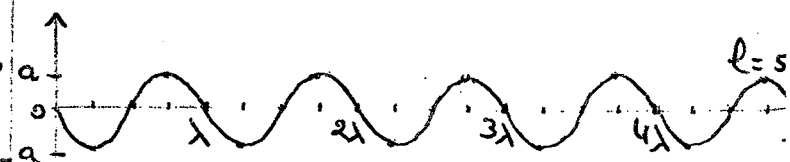


$$\rightarrow t' = 6.10^{-2} \text{ s} = 6T$$

$$x'_F = 6\lambda > l \Rightarrow \text{tous les pts vibrent.}$$

$$y'(x) = a \sin\left(\omega \times 6T - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

$$y'(x) = -a \sin \frac{2\pi x}{\lambda} : 0 \leq x \leq 5\lambda$$



6) n vibre en quadrature retard

par rapport à A $\Rightarrow$

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

$$-\frac{1}{4} \leq k \leq 4,75 \Rightarrow k \in \{0, 1, 2, 3, 4\}$$

Il existe 5 pts

k	0	1	2	3	4
x (cm)	4	20	36	52	68

Exercice n°2:

1) a) $T = 2,5 \times 4 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 10^{-2} \text{ s} \Rightarrow$

$N = 100 \text{ Hz}$

b) $\lambda = 20 \text{ cm} \Rightarrow c = \lambda \cdot N = 0,2 \times 100$
 $c = 20 \text{ m.s}^{-1}$

c) $t_1 = 1,5 T \Rightarrow t_1 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$

$x_1 = c \cdot t_1 = 1,5 \lambda \Rightarrow x_1 = 30 \text{ cm}$

d) a' t_2 : $x_F = 3\lambda = c t_2 \Rightarrow$

$t_2 = 3T \Rightarrow t_2 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ s}$

4) a) $y_{n_1}(t) = a \sin(\omega t + \varphi_{n_1})$

a' $t = 1,75 T$, $y_{n_1} = a = a \sin(\omega \cdot 1,75 T + \varphi_{n_1})$

$\sin(\varphi_{n_1} - \frac{\pi}{2}) = 1 \Rightarrow \varphi_{n_1} - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow$

$\varphi_{n_1} = \pi$

$y_{n_1}(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(200\pi t + \pi)$; $t \geq 1,5 T$

$y_s(t) = y_{n_1}(t + 1,5 T)$

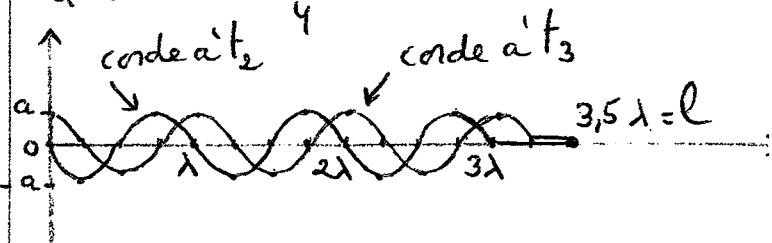
$y_s(t) = a \sin[\omega(t + 1,5 T) + \pi]$

$y_s(t) = a \sin(\omega t + \pi + 3\pi)$

$y_s(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(200\pi t)$ $t \geq 0$

b) $\varphi_{n_1} - \varphi_s = \pi \Rightarrow n_1$ et S vibrent en opposit° de phase.

3) a) $t_3 = 2T + \frac{1}{4} T \Rightarrow$ le point a avance de $\frac{\lambda}{4}$.



b) a' $t_2 = 3T$

$y_2(x) = a \sin(\underbrace{\omega \times 3T}_{6\pi} - \frac{2\pi x}{\lambda})$

$y_2(x) = -a \sin \frac{2\pi x}{\lambda} = -\frac{a}{2} \Rightarrow$

$\sin \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{1}{2} = \sin \frac{\pi}{6} \Rightarrow$

$\begin{cases} \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{6} + 2k\pi \\ \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{5\pi}{6} + 2k\pi \end{cases}$

Or $v < 0 \Rightarrow \frac{dy}{dx} > 0 \Rightarrow -\frac{2\pi a}{\lambda} \cos \frac{2\pi x}{\lambda} > 0$

$\Rightarrow \cos \frac{2\pi x}{\lambda} < 0 \Rightarrow \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{5\pi}{6} + 2k\pi$

$\Rightarrow x = \lambda(k + \frac{5}{12})$

Or $0 \leq x \leq 3\lambda$

$0 \leq \lambda(k + \frac{5}{12}) \leq 3\lambda \Rightarrow \frac{5}{12} \leq k \leq 3 - \frac{5}{12}$

$k \in \{0, 1, 2\}$: il existe 3 pts.

k	0	1	2
x (cm)	8,33	28,33	48,33

Graphiquement, ces pts se situent sur la sinusoïde des espaces tq: $y(x) = -\frac{a}{2}$

et $\frac{dy}{dx} > 0$

Exercice n°1:

$$1) y_s(t) = a \sin(\omega t + \varphi_s)$$

$$\text{à } t=0, y_s = \frac{\sqrt{2}}{2} = \sin \varphi_s = \sin \frac{\pi}{4}$$

$$\Rightarrow \varphi_s = \frac{\pi}{4} \text{ ou } \varphi_s = \frac{3\pi}{4}$$

$$\text{or à } t=0, y'_s > 0 \Rightarrow \cos \varphi_s > 0 \Rightarrow$$

$$\varphi_s = \frac{\pi}{4} \text{ d'où:}$$

$$y_s(t) = 10^{-3} \sin(200\pi t + \frac{\pi}{4}) : t \geq t_1$$

$$2) \sin(\omega t + \frac{\pi}{4}) = 0 \Rightarrow$$

$$\omega t + \frac{\pi}{4} = k\pi \Rightarrow \omega t = -\frac{\pi}{4} + k\pi$$

$$\Rightarrow t = -\frac{\pi}{4\omega} + \frac{k\pi}{\omega} = -\frac{T}{8} + k\frac{T}{2}$$

$$t = \frac{T}{2}(k - \frac{1}{4}) : \text{les dates de}$$

passage par la posit° d'éqhe.

$$\text{à } t_1 : v > 0 \Rightarrow k \text{ est pair}$$

$$(\cos k\pi = +1)$$

$$k = 0 \quad (0 < |t_1| < \frac{T}{4}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_1 = -\frac{1}{8}T : t_1 = -0,125 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

$$3) \lambda = \frac{c}{N} = \frac{0,4}{100}, \quad \lambda = 4 \text{ mm}$$

$$n \rightarrow x = 1,4 \text{ cm} = 3,5\lambda$$

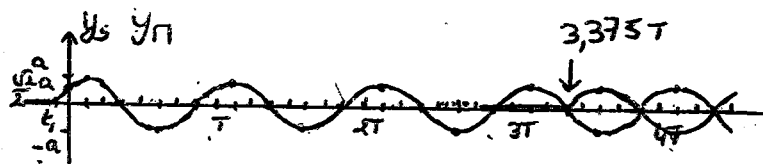
$$y_n(t) = a \sin(\omega t + \frac{\pi}{4} - \frac{2\pi}{\lambda} \times 3,5\lambda)$$

$$y_n(t) = a \sin(\omega t - \frac{3\pi}{4})$$

$$y_n(t) = 10^{-3} \sin(200\pi t - \frac{3\pi}{4}) : t \geq \underbrace{t_1 + 3,5T}_{3,375T}$$

$$4) \varphi_n = -\frac{\pi}{8} + 3,5T \times$$

$$\theta_n = 35T = \frac{x}{v}$$



$$5) t = 0,025 \text{ s} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 2,5T$$

$$\Rightarrow r_F = c(\Delta t) = c(2,5T + \frac{T}{8})$$

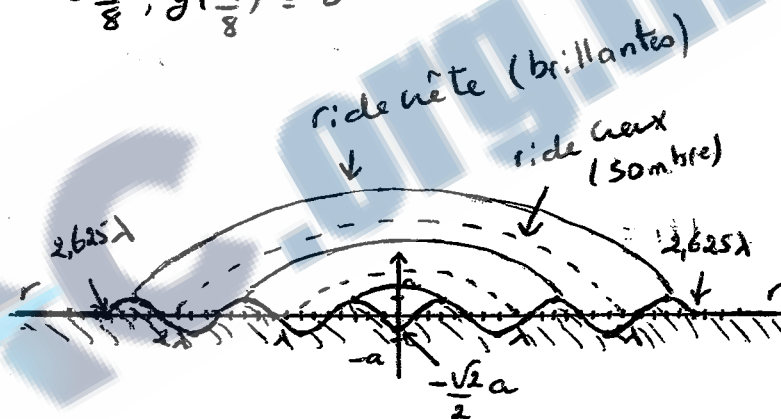
$$r_F = 2,625\lambda$$

$$y(r) = a \sin(\omega \times 2,5T + \frac{\pi}{4} - \frac{2\pi r}{\lambda})$$

$$y(r) = a \sin(\frac{2\pi r}{\lambda} - \frac{\pi}{4}) : 0 \leq r \leq 2,625\lambda$$

$$r=0, y(0) = -\frac{\sqrt{2}}{2}a$$

$$r = \frac{\lambda}{8}, y(\frac{\lambda}{8}) = 0$$



$$6) \text{a) Immobilité apparente} \Rightarrow$$

$$T_e = kT \Rightarrow N_e = \frac{N}{k} \quad k \in \mathbb{N}^*$$

$$\text{or } 20 \leq N_e \leq 50 \Rightarrow 20 \leq \frac{100}{k} \leq 50$$

$$\frac{1}{5} \leq \frac{1}{k} \leq \frac{1}{2} \Rightarrow 2 \leq k \leq 5 \Rightarrow$$

$$k \in \{2, 3, 4, 5\}$$

k	2	3	4	5
N _e (Hz)	50	33,3	25	20

$$b) N_e = 49 \text{ Hz} \leq \frac{N}{2} \Rightarrow T_e \geq 2T$$

$\Rightarrow T_e = 2T + \varepsilon T$: mut apparent au ralenti ds le sens réel.

$$y_{n_1} = a \sin(\omega t - \frac{3\pi}{4})$$

$$n \rightarrow x$$

$$y_n = a \sin(\omega t + \frac{\pi}{4} - \frac{2\pi x}{\lambda})$$

$$\varphi_{n_1} - \varphi_n = \frac{2\pi x}{\lambda} - \pi = -\frac{\pi}{2} + 2k\pi$$

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + 2k\pi \Rightarrow x = \lambda(k + \frac{1}{4})$$

$x \geq 0 \Rightarrow k \in \mathbb{N}$ (famille de rides circulaires de rayons $r = \lambda(k + \frac{1}{4})$)

Exercice n°2:

$$1) y_0(t) = a \sin(\omega t), \varphi_0 = 0$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2 \cdot 10^{-2}} = 100\pi \text{ rad.s}^{-1}$$

$$y_0(t) = 5 \cdot 10^{-4} \sin(100\pi t) : t \geq 0$$

$$n \rightarrow \theta_n = 1,75\pi$$

$$y_n(t) = a \sin(\omega t - \frac{\omega x \cdot 1,75T}{-3,5\pi = -4\pi + \frac{\pi}{2}})$$

$$y_n(t) = 5 \cdot 10^{-4} \sin(100\pi t + \frac{\pi}{2}) : t \geq 1,75T$$

$$2) d = c \cdot \theta_n = 1,75\lambda$$

$$c = \sqrt{\frac{F \cdot \ell}{m}} = \sqrt{\frac{0,5 \times 0,75}{15 \cdot 10^{-3}}} ; c = 5 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{c}{N} = \frac{5}{50} ; \lambda = 10 \text{ cm}$$

$$\text{d'où : } d = 17,5 \text{ cm}$$

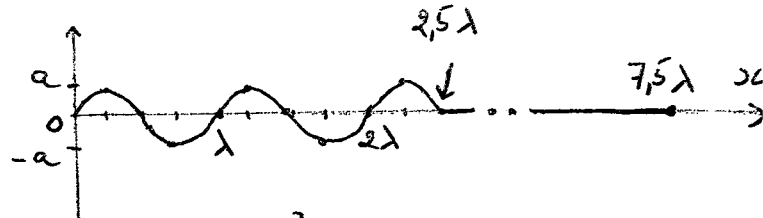
3) $\varphi_n - \varphi_0 = \frac{\pi}{2} \Rightarrow n$ vibre en quadrature avancée de phase par rapport à 0.

$$4) \omega t = 5 \cdot 10^2 \text{ s} = 2,5T$$

$$x_F = 2,5\lambda < L = 7,5\lambda$$

$$y(x) = a \sin(\omega \times 2,5T - \frac{2\pi x}{\lambda})$$

$$y(x) = a \sin \frac{2\pi x}{\lambda} : 0 \leq x \leq 2,5\lambda$$



$$5) \omega t = 5 \cdot 10^2 \text{ s}.$$

$$y(x) = a \sin \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{a}{2} \Rightarrow$$

$$\sin \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{1}{2} = \sin \frac{\pi}{6} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{6} + 2k\pi \\ \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{5\pi}{6} + 2k\pi \end{cases}$$

$$\text{or } v > 0 \Rightarrow \frac{dy}{dx} < 0 \Rightarrow$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} < 0 \Rightarrow \cos \frac{2\pi x}{\lambda} < 0$$

$$\Rightarrow \frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{5\pi}{6} + 2k\pi \Rightarrow$$

$$x = \lambda(k + \frac{5}{12})$$

$$\text{or } 0 \leq x \leq 2,5\lambda \Rightarrow$$

$$0 \leq \lambda(k + \frac{5}{12}) \leq 2,5\lambda \Rightarrow$$

$$-\frac{5}{12} \leq k \leq 2,5 - \frac{5}{12} \Rightarrow$$

$$k \in \{0, 1, 2\}$$

Il existe 3 pts

k	0	1	2
x (cm)	4,16	14,16	24,16

Série (4)

On des mécaniques progressives

I) 1) $y_s(t) = a \sin(\omega t + \varphi_s)$

d'après le principe de propagat°:

$y_n(t) = y_s(t - \theta)$ avec $\theta = \frac{x}{c}$

$\Rightarrow y_n(t) = a \sin(\omega(t - \frac{x}{c}) + \varphi_s)$

$y_n(t) = a \sin(\omega t + \varphi_s - \frac{2\pi x}{\lambda}) : t \geq \frac{x}{c}$

2) a) $t_1 = 2T$

$y(\frac{\lambda}{4}) = a = a \sin(\omega \times 2T + \varphi_s - \frac{2\pi \cdot \lambda}{\lambda \cdot \frac{1}{4}})$

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

$\varphi_s = \pi$

b) $\lambda = 10 \text{ cm}$

$c = \lambda \cdot N = 0,1 \times 100$

$c = 10 \text{ m.s}^{-1}$

3) $\pi_1 \rightarrow x_1 = 12,5 \text{ cm} = 1,25 \lambda$

$\theta_{\pi_1} = 1,25 T$

$y_{\pi_1}(t) = a \sin(\omega t - \omega \times 1,25 T + \pi)$ $x = \lambda(k - \frac{1}{4})$

$y_{\pi_1}(t) = a \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) : t \geq 1,25 T$ or $0 \leq x \leq L = 5\lambda \Rightarrow 0 \leq \lambda(k - \frac{1}{4}) \leq 5$

$\Rightarrow \frac{1}{4} \leq k \leq 5 + \frac{1}{4} \Rightarrow k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$

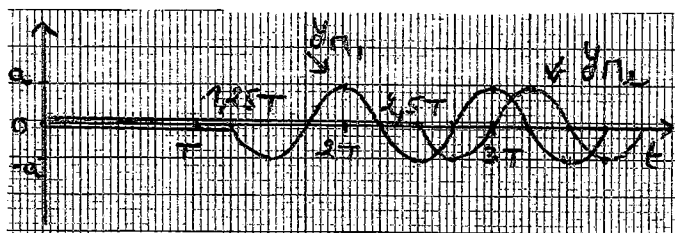
Il existe 5 pts.

$\pi_2 \rightarrow x_2 = 25 \text{ cm} = 2,5 \lambda$

$\theta_{\pi_2} = 2,5 T$

$y_{\pi_2}(t) = a \sin(\omega t - \omega \times 2,5 T + \pi)$

$y_{\pi_2}(t) = a \sin(\omega t) : t \geq 2,5 T$



π_1 vibre en quadrature
avance de phase par rapport à π_2

4) $N = 100 \text{ Hz}$

$N_e = 50 \text{ Hz} = \frac{N}{2} \Rightarrow T_e = 2T$

$\Rightarrow$ on observe une corde apparemment immobile ayant la forme d'une sinusoïde.

$N_e = 101 \text{ Hz} \approx N \Rightarrow T_e \leq T \Rightarrow$

$T_e = T - \epsilon T$ (ϵ est très petit)

$\Rightarrow$ on observe une corde ayant la forme d'une sinusoïde qui se déforme au ralenti ds le sens (-)

5) $c^2 = \frac{\|\vec{F}\| \cdot L}{m} \Leftrightarrow \|\vec{F}\| = \frac{m c^2}{L}$

$\|\vec{F}\| = \frac{6 \cdot 10^{-3} \times 10^2}{0,5}$

$\|\vec{F}\| = 1,2 \text{ N}$

6) π vibre en quadrature avance de phase par rapport à $S \Rightarrow$

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

or $0 \leq x \leq L = 5\lambda \Rightarrow 0 \leq \lambda(k - \frac{1}{4}) \leq 5$

$\Rightarrow \frac{1}{4} \leq k \leq 5 + \frac{1}{4} \Rightarrow k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$

Il existe 5 pts.

k	1	2	3	4	5
x (cm)	7,5	17,5	27,5	37,5	47,5

II) $N = 50 \text{ Hz}$, $\lambda = \frac{c}{N} = \frac{15}{50}$

$\lambda = 30 \text{ cm}$

$y_{\pi_1}(t) = 10^{-2} \sin(\omega t + \pi)$

1) $\pi_1, \pi_2 = d = \frac{\lambda}{4}$

$y_{n_2}(t) = y_{n_1}(t - \theta)$ avec $\theta = \frac{d}{c} = \frac{T}{4}$

$$y_{n_2}(t) = a \sin\left(\omega t - \omega \frac{T}{4} + \pi\right)$$

$$y_{n_2}(t) = 10^{-2} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

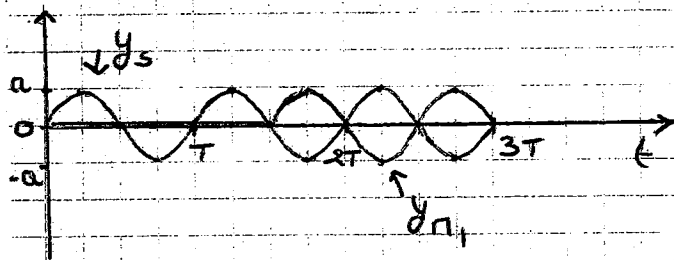
$2) \theta_{n_1} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 1,5 T \rightarrow x_{n_1} = 1,5 \lambda$

$a) y_s(t) = y_{n_1}(t + 1,5 T)$

$$y_s(t) = a \sin(\omega t + \omega \times 1,5 T + \pi)$$

$$y_s(t) = 10^{-2} \sin(\omega t)$$

b)



$3) y_A(t) = a \sin(\omega t + \pi - \frac{2\pi d_1}{\lambda})$

$$y_B(t) = a \sin(\omega t + \pi - \frac{2\pi d_2}{\lambda})$$

$$\Delta \varphi = \varphi_A - \varphi_B = \frac{2\pi}{\lambda} (d_2 - d_1)$$

A et B vibrent en quadrature

de phase $\Rightarrow \Delta \varphi = \frac{\pi}{2} + k\pi \Rightarrow$

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

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

$4) y_s(t) = a \sin(\omega t)$

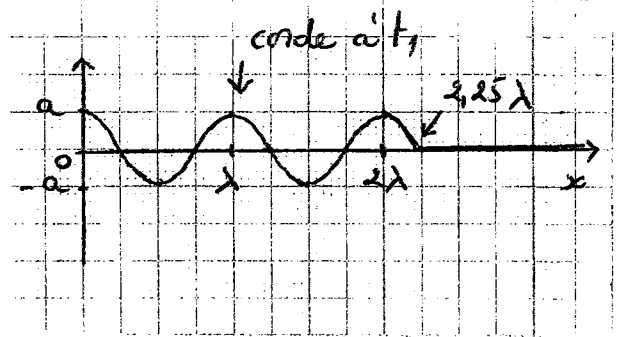
$t_1 = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 2,25 T \Rightarrow$

$x_F = 2,25 \lambda$

$$y_1(x) = a \sin\left(\omega \times 2,25 T - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

$$y_1(x) = a \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

$$y_1(x) = a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} ; 0 \leq x \leq 2,25 \lambda$$



A) 1) a) $\lambda = 12 \text{ cm}$

$$\lambda = \frac{c}{N} \Rightarrow N = \frac{c}{\lambda} = \frac{20}{0,12}$$

$$N = 166,7 \text{ Hz} \quad (T = 6 \cdot 10^{-3} \text{ s})$$

$$x_F = 25 \text{ cm} = 2\lambda + \frac{\lambda}{12} \Rightarrow$$

$$t_F = 2T + \frac{T}{12} = \frac{x_F}{c} = \frac{0,25}{20}$$

$$t_F = 1,25 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

b) Éq° de l'onde progressive:

$$y(x, t) = a \sin(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_s)$$

Éq° de la sinusoïde des espaces à t_F :

$$y(x) = a \sin(\omega \times 2T + \omega \frac{T}{12} - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_s)$$

$$y(x) = a \sin\left(\frac{\pi}{6} - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_s\right)$$

Pour $x = \frac{\lambda}{3}$, $y = a \Rightarrow$

$$a = a \sin\left(\frac{\pi}{6} - \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{\lambda}{3} + \varphi_s\right) \Rightarrow$$

$$1 = \sin\left(\frac{\pi}{6} - \frac{2\pi}{3} + \varphi_s\right) = \sin\left(\varphi_s - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\Rightarrow \varphi_s - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \varphi_s = \pi \text{ rad}$$

d'où: $y_s(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(1047t + \pi); t \geq 0$

2) à $t = t_F$, $x_F = 2\lambda + \frac{\lambda}{12}$

q'onde en opposition de phase par rapport à S $\Rightarrow$

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

$$\text{or } 0 \leq x \leq x_F \Rightarrow 0 \leq \lambda\left(k + \frac{1}{2}\right) \leq 2\lambda + \frac{\lambda}{12}$$

$$\Rightarrow -0,5 \leq k \leq 1,58 \Rightarrow k \in \{0, 1\}$$

$$k = 0 \rightarrow x_1 = \frac{\lambda}{2} = 6 \text{ cm}$$

$$k = 1 \rightarrow x_2 = \frac{3\lambda}{2} = 18 \text{ cm}$$

b) à $t = t_F$, $y_s = -\frac{a}{2}$

$$y(x) = a \sin\left(\frac{\pi}{6} - \frac{2\pi x}{\lambda} + \pi\right) = -\frac{a}{2}$$

$$\Rightarrow \sin\left(\frac{\pi}{6} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) = \frac{1}{2} = \sin\frac{\pi}{6} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} -\frac{2\pi x}{\lambda} + \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{6} + 2k\pi \\ -\frac{2\pi x}{\lambda} + \frac{\pi}{6} = \frac{5\pi}{6} + 2k\pi \end{cases}$$

$$\text{or } v_{t_F} = \frac{dy}{dt} = a\omega \cos\left(\omega t_F - \frac{2\pi x}{\lambda} + \pi\right) > 0$$

$$\Rightarrow \cos\left(\frac{\pi}{6} - \frac{2\pi x}{\lambda} + \pi\right) > 0 \Rightarrow$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{6} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) < 0 \Rightarrow -\frac{2\pi x}{\lambda} + \frac{\pi}{6} = \frac{5\pi}{6} + 2k\pi$$

$$\Rightarrow -\frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{2\pi}{3} + 2k\pi \Rightarrow x = -\lambda\left(k + \frac{1}{3}\right)$$

$$\text{or } 0 \leq x \leq x_F \Rightarrow 0 \leq -\lambda\left(k + \frac{1}{3}\right) \leq 2\lambda + \frac{\lambda}{12}$$

$$0 \leq -k - \frac{1}{3} \leq 2 + \frac{1}{12} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{3} \leq -k \leq 2,4 \Rightarrow -2,4 \leq k \leq -\frac{1}{3} \Rightarrow$$

$$k \in \{-2, -1\}$$

$$k = -1 \rightarrow x'_1 = 8 \text{ cm}$$

$$k = -2 \rightarrow x'_2 = 20 \text{ cm}$$

3) $\Pi_1 \rightarrow x_1 = 0,45 \text{ m} = 45 \text{ cm} = 3,75\lambda$

$$\Rightarrow \theta_{\Pi_1} = 3,75T$$

a) D'après le principe de propagation:

$$y_{\Pi_1}(t) = y_s(t - 3,75T) \Rightarrow$$

$$y_{\Pi_1}(t) = a \sin[\omega(t - 3,75T) + \pi]$$

$$y_{\Pi_1}(t) = a \sin(\omega t - 7,5\pi + \pi)$$

$$y_{\Pi_1}(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin\left(1047t - \frac{\pi}{2}\right); t \geq 3,75T$$

b) *) $t_1 = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 3T < \theta_{\Pi_1}$

$$v_{\Pi_1} = 0 \quad (\Pi_1 \text{ n'a pas commencé son mov})$$

*) $t_2 = 3,15 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 31,5 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 5,25T$

$$v'_{\Pi_1} = a\omega \cos\left(\omega \times 5,25T - \frac{\pi}{2}\right) = a\omega$$

$$v'_{\Pi_1} = 2,1 \text{ m.s}^{-1}$$

$$b) N = 40 \text{ Hz} \rightarrow T = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

$$\lambda = \frac{V}{N} = \frac{0,32}{40} = 8 \text{ mm}$$

$$1) y_s(t) = a \sin(\omega t + \varphi_s)$$

$$\text{à } t=0, y_s = 0 \Rightarrow \sin \varphi_s = 0 \Rightarrow$$

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

$$\text{or à } t=0, v_s > 0 \Rightarrow \omega \varphi_s > 0 \Rightarrow \varphi_s = 0$$

$$\Rightarrow y_s(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(80\pi t) \quad t \geq 0$$

d'après le principe de propagation:

$$y_p(t) = a \sin \omega(t - \theta) \Rightarrow$$

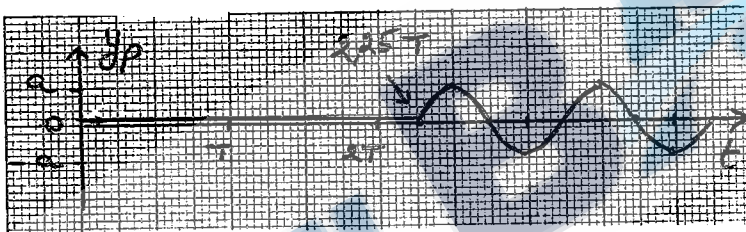
$$\boxed{y_p(t) = a \sin(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}) \quad t \geq \frac{x}{V}}$$

$$2) P \rightarrow x_p = 1,8 \text{ cm} = 2,25 \lambda \Rightarrow$$

$$\theta_p = 2,25\pi$$

$$y_p(t) = a \sin(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} \times 2,25\lambda)$$

$$y_p(t) = a \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad t \geq 2,25\pi$$



$$3) N = 40 \text{ Hz}$$

$$N_e = 20,5 \text{ Hz} \geq \frac{N}{2} \Rightarrow \frac{1}{N_e} \leq \frac{2}{N} \Rightarrow$$

$$T_e \leq 2T \Rightarrow T_e = 2T - \epsilon T$$

(ϵ est très petit)

$\Rightarrow$ On observe les rides circulaires

en mvt au ralenti dans le sens (-)

Serie (6)

Ondes mécaniques progressives

1) Pour observer des rides circulaires immobiles, on éclaire la surface de l'eau par un stroboscope de fréquences

$$N_e = \frac{N}{k} : k \in \mathbb{N}^*$$

2) λ : la distance parcourue par l'onde pendant une période temporelle T .

$$d = 3\lambda = 24 \text{ mm} \Rightarrow \lambda = 8 \text{ mm}$$

$$3) *) T = 2 \cdot 10^{-2} \text{ s} \Rightarrow N = 50 \text{ Hz}$$

$$V = \lambda \cdot N = 8 \cdot 10^{-3} \times 50$$

$$V = 0,4 \text{ m.s}^{-1}$$

$$*) \theta_n = 0,75 T \quad x = 0,75 \lambda = 6 \text{ mm}$$

$$y_n(t) = a \sin(\omega t + \varphi_n)$$

$$\text{à } t = T, y_n = -a = a \sin(\omega T + \varphi_n)$$

$$\Rightarrow \sin \varphi_n = -1 \Rightarrow \varphi_n = -\frac{\pi}{2} \text{ d'où :}$$

$$y_n(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(100\pi t - \frac{\pi}{2}) : t \geq 0,75 T$$

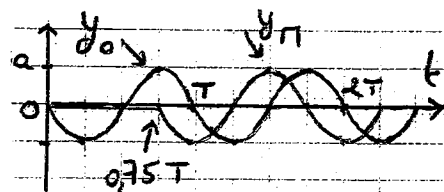
$$4) *) y_0(t) = y_n(t + 0,75 T)$$

$$y_0(t) = a \sin(\omega t + \omega \times 0,75 T - \frac{\pi}{2})$$

$$y_0(t) = a \sin(\omega t + \pi)$$

$$y_0(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(100\pi t + \pi) : t \geq 0$$

*) La sinusoïde des temps de 0 est déduite à partir de celle de π par translation vers l'arrière de $\frac{3T}{4}$.



$$y_0(t) = a \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$\text{à } t=0, y_0=0 \text{ et } y'_0 < 0 \Rightarrow \varphi_0 = \pi$$

$$\Rightarrow y_0(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(100\pi t + \pi) : t \geq 0$$

$$5) t_0 = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 2,25 T \Rightarrow x_F = 2,25 \lambda$$

$$y_0(x) = a \sin(\omega x \cdot 2,25 T + \pi - \frac{2\pi x}{\lambda})$$

$$y_0(x) = a \sin(-\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi x}{\lambda})$$

$$y_0(x) = -a \cos \frac{2\pi x}{\lambda}$$



Il existe 4 pts qui vibrent en phase avec 0 à l'instant t_0 .

$$\pi_1 \rightarrow x_1 = \lambda = 8 \text{ mm (et } \pi'_1)$$

$$\pi_2 \rightarrow x_2 = 2\lambda = 16 \text{ mm (et } \pi'_2)$$

$$6) y_0(t) = a \sin(\omega t + \pi)$$

$$y_n(t) = a \sin(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \pi)$$

$$\text{or } \lambda = \frac{V}{N} \Rightarrow$$

$$y_n(t) = a \sin(\omega t - \frac{2\pi N x}{V} + \pi)$$

$$\varphi_0 - \varphi_n = \frac{2\pi N x}{V} = 2k\pi \Rightarrow$$

$$N x = k V \Rightarrow N = \frac{k V}{x}$$

$$\text{or } 50 \leq N \leq 200 \quad 50 \leq 66,7 k \leq 200$$

$$0,7 \leq k \leq 3 \Rightarrow k \in \{1, 2, 3\}$$

k	1	2	3
N	66,7	133,4	200

Série (7)

Ondes mécaniques progressives

$$1) y_s(t) = a \sin(\omega t + \varphi_s)$$

$$\text{à } t=0, y_s=0 \text{ et } y'_s < 0 \Rightarrow \varphi_s = \pi$$

$$\Rightarrow y_s(t) = 3 \cdot 10^{-3} \sin(40\pi t + \pi) : t \geq 0$$

$$2) \lambda = \frac{c}{N} = \frac{0,4}{20} = 0,02 \text{ m}$$

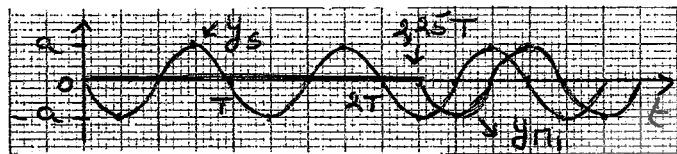
$$\lambda = 2 \text{ cm}$$

$$3) n_1 \rightarrow d_1 = 4,5 \text{ cm} = 2,25 \lambda$$

$$\Rightarrow \theta_{n_1} = 2,25 T$$

$$y_{n_1}(t) = a \sin(\omega t - \omega \times 2,25 T + \pi)$$

$$y_{n_1}(t) = a \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) : t \geq 2,25 T$$



S vibre en quadrature
avance de phase par rapport à n_1

$$4) t_1 = 17,5 \cdot 10^{-2} \mu$$

$$T = 5 \cdot 10^{-2} \mu \Rightarrow t_1 = 3,5 T \Rightarrow$$

$$x_F = 3,5 \lambda$$

$$y(x) = a \sin(\omega \times 3,5 T + \pi - \frac{2\pi x}{\lambda})$$

$$y(x) = -a \sin \frac{2\pi x}{\lambda}$$



5) n vibre en quadrature
retard de phase par rapport à S $\Rightarrow$

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

$$\text{or } 0 \leq x \leq 2,25 \lambda$$

$$0 \leq \lambda(k + \frac{1}{4}) \leq 2,25 \lambda$$

$$-0,25 \leq k \leq 2 \Rightarrow$$

$$k \in \{0, 1, 2\}$$

Il existe 3 pts

k	0	1	2
x (cm)	0,5	2,5	4,5

www.BAC.org.in

1) En s'éloignant de 0, le nombre de points qui partagent l'énergie de la source augmente, donc l'énergie reçue par chaque point diminue qd on s'éloigne de la source ce qui entraîne la diminution de l'amplitude du mvt. c'est le phénomène de la dilution de l'énergie de la source.

2) a) $B: r_B = 18 \text{ mm}$

$\theta_B = 2,25\pi = 45 \cdot 10^{-3} \text{ s}$

$y_B(t) = a \sin(\omega t + \varphi_B)$

à $t = 2,5\pi$, $y_B = -a \Rightarrow$

$-a = a \sin(\omega \times 2,5\pi + \varphi_B) \Rightarrow$

$\sin(\pi + \varphi_B) = -1 \Rightarrow \pi + \varphi_B = -\frac{\pi}{2}$

$\Rightarrow \varphi_B = -\frac{3\pi}{2}$

$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2 \cdot 10^{-2}} = 100\pi \text{ rad.s}^{-1}$

$a = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ d'où :

$y_B(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(100\pi t - \frac{3\pi}{2}) : t \geq 2,25\pi$

b) $y_0(t) = y(t + \theta_B) = y_B(t + 2,25\pi)$

$y_0(t) = a \sin[\omega(t + 2,25\pi) - \frac{3\pi}{2}]$

$y_0(t) = a \sin(\omega t + 4,5\pi - \frac{3\pi}{2})$

$y_0(t) = a \sin(\omega t + \pi)$

$y_0(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(100\pi t + \pi) : t \geq 0$

c) $c = \frac{r_B}{\theta_B} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{45 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow$

$c = 0,4 \text{ m.s}^{-1}$ avec $\lambda = 8 \text{ mm}$

3) a) $t_2 = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 2,75\pi$

$\Rightarrow r_F = ct_2 = 2,75\lambda$: long. du front d'onde.

Eq° de la sinusoïde des espaces

$y_2(r) = a \sin(\omega \times 2,75\pi - \frac{2\pi r}{\lambda} + \pi)$

$y_2(r) = a \sin(\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi r}{\lambda})$

$y_2(r) = a \cos \frac{2\pi r}{\lambda}$



b) à t_2 : $y_2(r) = a \cos \frac{2\pi r}{\lambda} = 0 \Rightarrow$

$\cos \frac{2\pi r}{\lambda} = 0 \Rightarrow$

$\begin{cases} \frac{2\pi r}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + 2k\pi \\ \frac{2\pi r}{\lambda} = -\frac{\pi}{2} + 2k\pi \end{cases}$

or $v = \frac{dy}{dt} > 0 \Rightarrow \frac{dy}{dr} < 0 \Rightarrow$

$-\frac{2\pi}{\lambda} a \sin \frac{2\pi r}{\lambda} < 0 \Rightarrow \sin \frac{2\pi r}{\lambda} > 0$

$\Rightarrow \frac{2\pi r}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + 2k\pi \Rightarrow r = \lambda(k + \frac{1}{4})$

or $0 \leq r \leq 2,75\lambda \Rightarrow$

$0 \leq \lambda(k + \frac{1}{4}) \leq 2,75\lambda \Rightarrow$

$-0,25 \leq k \leq 2,5 \Rightarrow k \in \{0, 1, 2\}$

les points ayant, a_1, a_2 , une élongation nulle et se déplaçant ds le sens positif se situent sur des rides circulaires de rayon

$$*) k=0 \Rightarrow r_0 = \frac{\lambda}{4} = \underline{2 \text{ mm}}$$

$$*) k=1 \Rightarrow r_1 = \frac{5\lambda}{4} = \underline{10 \text{ mm}}$$

$$*) k=2 \Rightarrow r_2 = \frac{9\lambda}{4} = \underline{18 \text{ mm}}$$

$$4) N = 50 \text{ Hz}$$

$$a) N_e = 25 \text{ Hz} = \frac{N}{2} \Rightarrow T_e = 2T$$

Entre 2 éclairs consécutifs, chaque point effectue 2 vibrations complètes donc il est éclairé ds la m^{ême} position

$\Rightarrow$ On observe une immobilité apparente des rides circulaires.

$$b) N = 51 \text{ Hz} \gtrsim N \Rightarrow T_e \leq T$$

$$\Rightarrow T_e = T - \epsilon T \quad (\epsilon \text{ très petit})$$

entre 2 éclairs consécutifs,

chaque point effectue une vibrat° complète moins une fraction de vibration $\Rightarrow$ movt au ralenti ds le sens négatif.

On observe des rides qui semblent venir de l'extérieur pour être absorbées par la source.

Série n°(9)

Ondes mécaniques progressives

Exercice n°1:

$$1) \varphi_s - \varphi_{n_1} = \frac{2\pi d_1}{\lambda}$$

*) S et n_1 sont en phase $\Rightarrow$

$$\frac{2\pi d_1}{\lambda} = 2k\pi \Rightarrow \frac{d_1}{\lambda} = k$$

$$\text{Or } \lambda = \frac{v}{N} \Rightarrow \frac{Nd_1}{v} = k \Rightarrow$$

$$N = \frac{kv}{d_1}$$

$$N = k \frac{340}{2} \Rightarrow \underline{N = 170k \text{ (Hz)}}$$

$$N > 0 \Rightarrow k \in \mathbb{N}^*$$

*) S et n_1 sont en opposit° deph.

$$\Rightarrow \frac{2\pi d_1}{\lambda} = \pi + 2k\pi \Rightarrow \frac{d_1}{\lambda} = k + \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{d_1 N}{v} = k + \frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$N = (k + \frac{1}{2}) \frac{v}{d_1}$$

$$\Rightarrow N = 170(k + \frac{1}{2}) \text{ (Hz)}$$

$$N > 0 \Rightarrow k \in \mathbb{N}$$

$$2) \varphi_{n_1} = -\frac{2\pi d_1}{\lambda} + \varphi_s$$

$$\varphi_n = -\frac{2\pi d}{\lambda} + \varphi_s$$

$$\varphi_{n_1} - \varphi_n = \frac{2\pi}{\lambda}(d - d_1) = 2k\pi$$

$$d - d_1 = k\lambda \Rightarrow d = d_1 + k\lambda$$

$$\lambda = \frac{v}{N} = \frac{34}{51} \text{ m}$$

$$\boxed{d = 2 + \frac{34}{51} k}$$

$$d \geq 0 \Rightarrow \frac{34}{51} k \geq -2 \Rightarrow$$

$$k \geq -\frac{102}{34} = -3$$

$$\text{et } d < 2 \text{ m} \Rightarrow$$

$$2 + \frac{34}{51} k < 2 \Rightarrow \frac{34}{51} k < 0$$

$$k < 0 \Rightarrow$$

$k \in \{-3, -2, -1\}$: il existe 3 pts.

k	-3	-2	-1
d (m)	0	$\frac{2}{3}$	$\frac{4}{3}$

$$3) \varphi_s - \varphi_n = 2k\pi = \frac{2\pi d}{\lambda}$$

$$\Rightarrow d = k\lambda = \frac{34}{51} k \text{ avec } k \in \mathbb{N}^*$$

k	1	2	3	4
d (m)	0,62	1,24	1,86	2,48
		P	P	Q



Il faut rapprocher le microphone de S d'une distance, égale à 0,14 m minimale

et l'éloigner d'une distance minimale égale à 0,48 m

Exercice n° 2:

$$1) N = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,2 \cdot 10^{-3}}$$

$$N = 5000 \text{ Hz}$$

$$|\Delta\varphi| = \omega \Delta t = \frac{T}{3} \cdot \omega$$

$$|\Delta\varphi| = \frac{2\pi}{3}$$

$$\varphi_S - \varphi_{\pi} = \frac{2\pi}{3} > 0 \quad \text{car}$$

y_S atteint son max. avant y_{π} .

$$2) \text{ a) } \varphi_S - \varphi_{\pi_1} = \frac{2\pi x_1}{\lambda} \text{ et}$$

$$\varphi_S - \varphi_{\pi_2} = \frac{2\pi x_2}{\lambda}$$

$$\varphi_{\pi_1} - \varphi_{\pi_2} = \frac{2\pi}{\lambda} (x_2 - x_1)$$

S et π_1 sont en phase et S et π_2

sont en phase $\Rightarrow \pi_1$ et π_2 sont en

$$\text{phase} \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} (x_2 - x_1) = 2h\pi$$

$$\Rightarrow x_2 - x_1 = h\lambda$$

$$x_2 - x_1 > 0 \Rightarrow h \in \mathbb{N}^*$$

π_1 et π_2 sont successives $\Rightarrow$

$x_2 - x_1$ est minimale $\Rightarrow h = 1$

$$\Rightarrow \underline{\lambda = 6,8 \text{ cm}}$$

$$\text{b) } \lambda = \frac{v}{N} \Rightarrow v = \lambda N$$

$$v = \underline{340 \text{ m.s}^{-1}}$$

3) a) On déplace le microphone sur une sphère de centre S et de rayon $S\pi$, on obtient le même signal sur la voie (2).
d'où l'onde est sphérique.

$$b) \varphi_S - \varphi_{\pi} = \frac{2\pi x_3}{\lambda} = 2h\pi$$

$$x_3 = h\lambda = h \frac{v}{N} \Rightarrow$$

$$N = h \frac{v}{x_3} \Rightarrow N = 1700 h \text{ (Hz)}$$

$$N > 0 \Rightarrow \underline{h \in \mathbb{N}^*}$$