

Les ondes mécaniques progressives périodiques

Exercices corrigés

Exercice 1 :

A l'aide d'un microphone, on visualise sur la voie A d'un oscilloscope le son émis par un instrument de musique. On obtient la courbe ci-dessous :

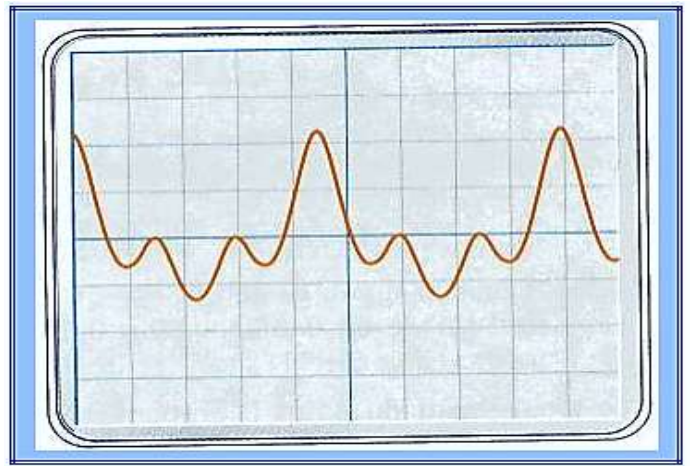
Les réglages de l'oscilloscope sont :

-Sensibilité de la voie A : 100 mV/div

-Balayage : $0,5 \text{ ms/div}$

1- déterminer la période du son.

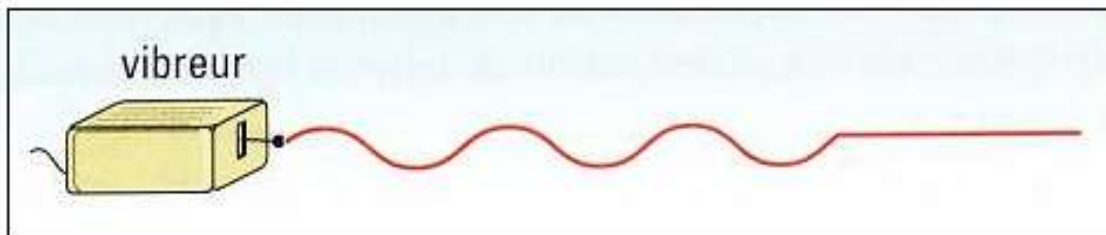
2- Déduire la longueur d'onde sachant que la célérité du son est 340 m/s .



Exercice 2 :

Une corde soumise à un vibreur est photographiée à l'instant $t = 0,060 \text{ s}$, le vibreur ayant commencé à fonctionner à l'instant $t = 0$.

La célérité des ondes le long de la corde est $v = 2,0 \text{ m/s}$.



1- Calculer la fréquence f et la longueur d'onde λ de l'onde.

2- Au début du fonctionnement, le vibreur s'est-il déplacé vers le haut ou vers le bas ?

3- Représenter l'aspect de la corde à l'instant $t' = 0,08 \text{ s}$.

Exercice 3 :

A l'aide d'une pointe liée à un vibreur on crée, en un point S sur la surface de l'eau, des ondes progressives de fréquence N , se propageant avec une vitesse constante sans amortissement et sans réflexion.

L'eau contenue dans la cuve est d'épaisseur constante.

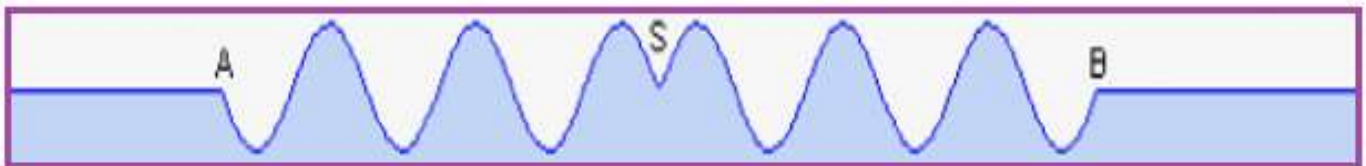
On éclaire la surface de l'eau avec un stroboscope de fréquence réglable N_e , on remarque que la plus grande fréquence des éclairs qui nous permet d'observer l'immobilité apparente des ondes est $N_e = 60 \text{ Hz}$.

La distance qui sépare la deuxième crête et la douzième est $d = 5,0 \text{ cm}$.

- 1)- Trouver la fréquence N du vibreur.
- 2)- Expliquer brièvement l'immobilité apparente de l'onde.
- 3)- Quelle est la longueur d'onde ?
- 4)- Quelle est la célérité de l'onde progressive ?
- 5)- Comparer les vibrations des deux points S et M appartenant à la surface de l'eau telle que $SM = 4,5 \text{ cm}$.
- 6)- Dans quelle condition les ondes émises par un vibreur à la surface d'eau ne seraient-elles plus circulaires ? Proposer une expérience dans laquelle les ondes ne seraient plus circulaires.

Exercice 4 :

Sur la surface de l'eau contenue dans une cuve à onde, on crée à l'instant $t_0 = 0$ une onde progressive sinusoïdale de fréquence $N = 50 \text{ Hz}$, en un point S, à l'aide d'une pointe liée à un vibreur. Elle se propage alors sans amortissement et sans réflexion avec une vitesse constante. Le document ci-dessous représente une section de la surface de l'eau suivant un plan vertical passant par le point S à l'instant t_1 .



La distance entre les points A et B est $AB = 3,0 \text{ cm}$ et l'amplitude constante de l'onde est de 4 mm .

- 1)- L'onde est-elle longitudinale ? Transversale ? Circulaire ? Rectiligne ?
- 2)- Déterminer valeur de la longueur d'onde λ et en déduire la vitesse v de propagation de l'onde.
- 3)- Déterminer le sens de la déformation à la date $t_0 = 0$.
- 4)- Comment le point M vibre par rapport à la source S ? Justifier la réponse.
- 5)- Quelle est la valeur de l'instant t_1 .
- 6)- On éclaire la surface de l'eau à l'aide d'un stroboscope dont la fréquence est $N_e = 51 \text{ Hz}$. Décrire ce qu'on observe sur la surface de l'eau en justifiant la réponse.

Exercice 5 :

Les ondes ultrasonores, ce sont des ondes mécaniques de fréquence plus grande que celle des ondes audibles. On l'exploite dans les différents domaines comme l'examen par l'échographie.

1- Propagation d'une onde mécanique

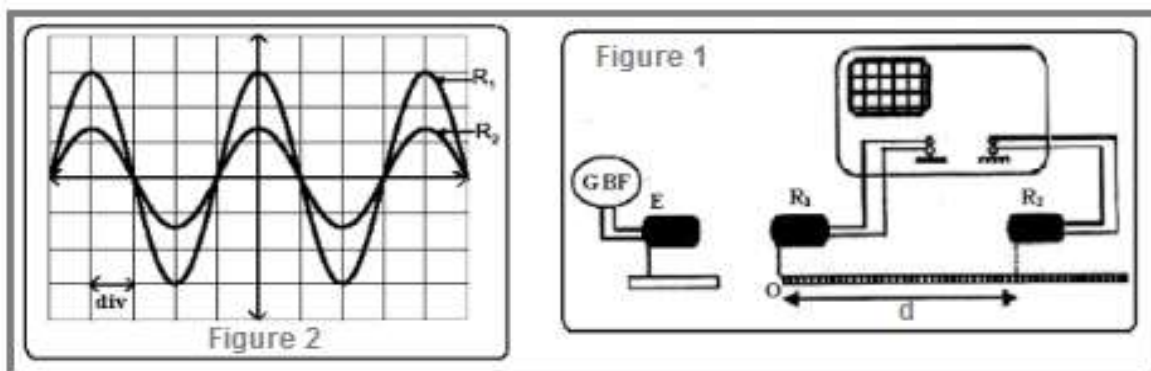
- 1- 1- Donner la définition d'une onde mécanique progressive.
- 1- 2- Citer la différence entre une onde mécanique transversale et une onde mécanique longitudinale.

2- Propagation d'une onde ultrasonore dans l'eau

On dispose un émetteur E et deux récepteurs R_1 et R_2 dans une cuve remplie d'eau, de tel sorte que l'émetteur E et les deux récepteurs sont alignés sur une règle graduée (fig1).

L'émetteur émet une onde ultrasonore progressive sinusoïdale qui se propage dans l'eau et reçue par R_1 et R_2 .

Les deux signaux qui sont reçus par les deux récepteurs R_1 et R_2 sont placés sur la zéro de la règle graduée, on observe sur l'écran de l'oscillogramme de la figure 2, où les deux courbes qui correspondent aux signaux reçus par R_1 et R_2 sont en phase.



La sensibilité horizontale : $S_H = 5 \mu s/div$.

On éloigne le récepteur R_2 suivant la règle graduée, on observe que la courbe correspondant au signal détecté par R_2 se translate vers la droite et deux signaux reçus par R_1 et R_2 deviendront, à nouveau, en phase lorsque la distance qui les sépare est de $d = 3 \text{ cm}$.

2-1- Donner la définition de la longueur de l'onde λ .

2-2- Ecrire la relation entre la longueur d'onde λ , la fréquence N des ondes ultrasonores et sa vitesse de propagation v dans un milieu quelconque.

2-3- En déduire de cette expérience la valeur v_e de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'eau.

3- Propagation des ondes ultrasonores dans l'air

On maintient les éléments du montage expérimental dans ces positions ($d=3\text{m}$) et on vide la cuve de l'eau de telle façon que le milieu de propagation devient l'air, dans ce cas, on observe que les deux signaux reçus par R_1 et R_2 ne sont plus en phase.

3-1- Donner une explication à cette observation.

3-2- Calculer la distance minimale d_{min} qu'elle faut pour éloigner R_2 de R_1 suivant la règle graduée, pour que les deux signaux soient à nouveau en phase, sachant que la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'air est $v_a = 340 \text{ m/s}$.

Correction des exercices

Exercice 1 :

1- Période du son :

Sur l'écran de de l'oscillogramme, la durée de deux périodes correspond à 9 div environ.

$$T = \frac{9 \times 0,5}{2} = 2,25 \text{ ms}$$

2- Longueur d'onde du son :

$$\lambda = v \cdot T$$

$$\lambda = 340 \times 2,25 \cdot 10^{-3} = 0,765 \text{ m}$$

Exercice 2 :

1- Calcul de la fréquence et la longueur d'onde de l'onde :

D'après l'enregistrement le signal a parcouru la distance $d = 3\lambda$ pendant la durée $\Delta t = 0,060 \text{ s}$.

-Fréquence de l'onde ν :

$$\begin{cases} d = v \cdot \Delta t \Rightarrow 3\lambda = v \cdot \Delta t \\ \lambda = v \cdot T = \frac{v}{f} \end{cases} \Rightarrow 3 \frac{v}{f} = v \cdot \Delta t \Rightarrow f = \frac{3}{\Delta t}$$

$$f = \frac{3}{0,060} = 50 \text{ Hz}$$

-Longueur d'onde de l'onde λ :

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{2}{50} = 0,040 \text{ m} \Rightarrow \lambda = 4 \text{ cm}$$

2- Sens de vibration du vibreur, au début du fonctionnement :

Au début du fonctionnement, le vibreur s'est déplacé vers le bas.

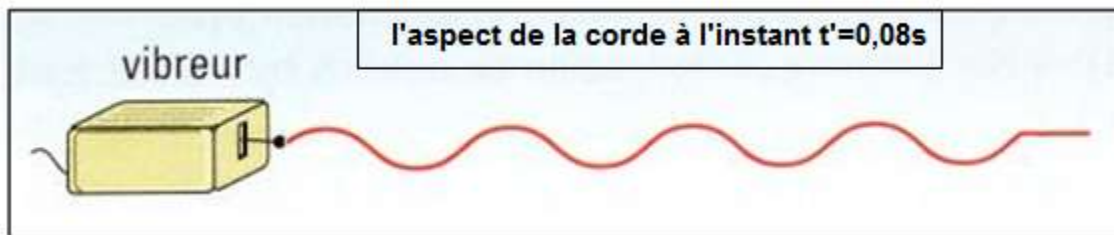
3- L'aspect de la corde à l'instant $t' = 0,08 \text{ s}$:

Cherchons la distance d' parcourue par le front de l'onde à l'instant t' :

$$v = \frac{d'}{t'} \Rightarrow d' = v \cdot t' \Rightarrow d' = 2,0 \times 0,08 = 0,16 \text{ m} = 16 \text{ cm}$$

Cherchons le nombre d'onde qui se trouve dans la distance d' : $n = \frac{d'}{\lambda} = \frac{16}{4} = 4$

Le front de l'onde a parcouru 4 longueur d'onde à l'instant t' .



Exercice 3 :

1)- La fréquence N :

Pour avoir une immobilité apparente de l'onde progressive périodique il faut que la relation $N = k \cdot N_e$ soit vérifiée.

La plus grande valeur de la fréquence des éclairs qui nous permettant de voir l'immobilité apparente

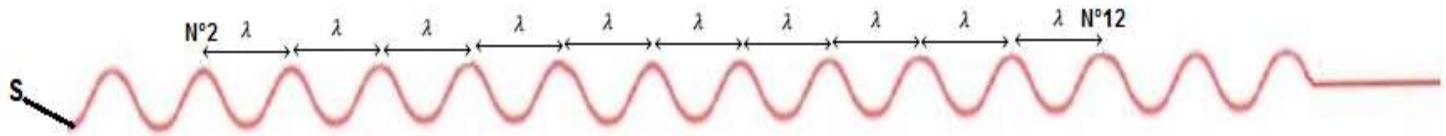
est :
$$N_{e \max} = \frac{N}{1} = N$$

$$N = N_e = 60 \text{ Hz}$$

2)- Explication de l'immobilité apparente :

Si on éclaire le milieu de propagation avec une fréquence d'éclairs égale à la fréquence de l'onde (60 Hz), entre deux éclairs consécutifs chaque crête d'onde va exactement remplacer la précédente (va parcourir une longueur d'onde), on observe l'immobilité apparente.

3)- Longueur d'onde λ :



Entre la crête N°2 et la crête N°12, il y a 10 longueurs d'ondes (10λ)

$$d = 10\lambda \Rightarrow \lambda = \frac{d}{10} = 0,5 \text{ cm}$$

4)- La célérité de l'onde progressive :

$$v = \lambda \cdot N$$

$$v = 0,5 \times 10^{-2} \times 60 = 0,30 \text{ m/s}$$

5)- Comparaisons des deux vibrations :

On compare la distance $SM = 1,25 \text{ cm}$ avec la longueur d'onde $\lambda = 0,5 \text{ cm}$,

$$\frac{SM}{\lambda} = \frac{1,25}{0,5} = \frac{5}{2}$$

$$SM = 5 \frac{\lambda}{2}$$

Cette distance est égale à un nombre impair de demi-longueur d'onde.

Donc M vibre en opposition de phase avec la source S.

6)- Dans quelle condition les ondes émises par un vibreur à la surface d'eau ne seraient-elles plus circulaires ?

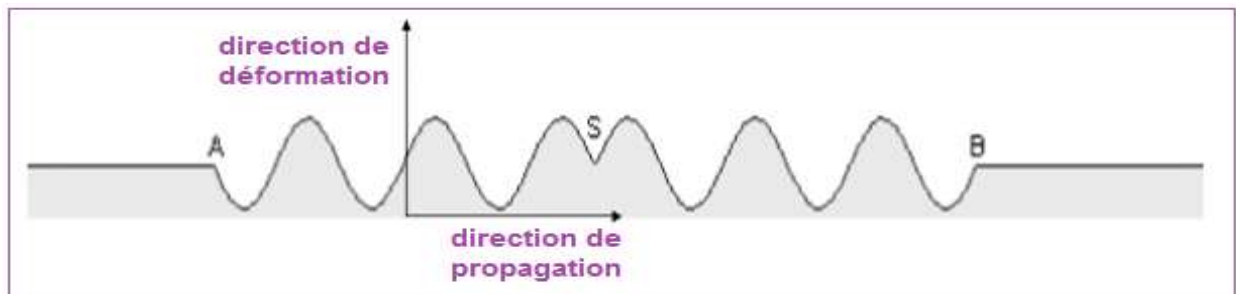
La géométrie circulaire des vagues est due au caractère quasi ponctuel de la source S.

Ainsi, par exemple, si on remplace le vibreur quasi ponctuel par une source rectiligne, on obtiendra des vagues rectilignes.

Exercice 4 :

1)- L'onde est-elle longitudinale ? Transversale ? Circulaire ? Rectiligne ?

L'onde est transversale car la direction de déformation est perpendiculaire à la direction de propagation.



L'onde est circulaire car la source est ponctuelle.

2)- Longueur d'onde :

Graphiquement on constate :

$$SA = \frac{AB}{2} = 3\lambda \Rightarrow \lambda = \frac{AB}{6} = 0,5 \text{ cm}$$

Vitesse de propagation :

$$v = \lambda \cdot N$$
$$v = 0,5 \times 10^{-2} \times 50 = 0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

3)- Le sens du mouvement de la source à l'instant $t = 0$:

D'après le graphe on constate que l'onde arrive aux points A et B de la surface de l'eau à l'instant t_1 qui vibrent vers le bas, puisque les points A et B répète le mouvement de la source S, donc à l'instant $t_0 = 0$ S vibre vers la bas aussi.

4)- Comparaison du mouvement de M et S :

Comparons la distance SA et la longueur d'onde λ : **$SA = 3\lambda$**

Donc M vibre en phase avec S.

5)- Détermination de l'instant t_1 :

Le front de l'onde parcourt la distance SA en une durée $\Delta t = t_1 - t_0 = t_1$:

$$v = \frac{SA}{t_1} \Rightarrow t_1 = \frac{SA}{v} \text{ avec } SA = \frac{AB}{2} = 1,5 \text{ cm}$$

$$t_1 = \frac{1,5 \cdot 10^{-2}}{0,25} = 0,06 \text{ s}$$

6)- Description la surface de l'eau :

La fréquence des vibrations **$N = 50 \text{ Hz}$** est légèrement inférieure à la fréquence des éclairs **$N_e = 51 \text{ Hz}$** ($N \lesssim N_e$).

On observe un mouvement ralenti apparent de l'onde progressive dans le sens inverse de la propagation réelle de l'onde, avec la fréquence apparente :

$$N_a = N - N_e = 51 - 50 = -1 \text{ Hz} < 0$$

Justification :

Entre deux éclairs consécutifs, chaque ride circulaire parcourt une distance λ moins une distance $\frac{1}{51}\lambda$ à partir de la distance précédente.

A cause de rapidité du mouvement, nous observons la propagation des rides circulaires dans le sens inverse de la propagation réelle.

Exercice 5 :

1- Propagation d'une onde mécanique

1-1- Définition d'une onde mécanique progressive :

On appelle onde mécanique progressive le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière.

1-2- Différence entre une onde transversale et une onde longitudinale :

Une onde transversale est provoquée par une perturbation qui est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde et onde longitudinale la direction perturbation et parallèle à la direction de propagation de l'onde.

2- Propagation d'une onde ultrasonore dans l'eau

2-1- Définition de la longueur de l'onde :

La longueur d'onde est la plus petite distance séparant deux points pour lesquels les perturbations du milieu sont en phase.

2-2- La relation liant la longueur d'onde λ , la fréquence N et la vitesse de propagation v :

Sachant que la longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde pendant une période T :

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

2-3- La vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'eau :

La période de l'onde d'après le graphe de la figure 2 :

$$T = S_H \cdot x = 5 \mu s / div \cdot 4 div = 20 \mu s$$

La fréquence est :

$$N = \frac{1}{T} = \frac{1}{20.10^{-6}} = 5.10^4 \text{ Hz}$$

La vitesse de propagation :

$$v_e = \lambda. N = 3.10^{-2} \times 5.10^4 = 1,5.10^3 \text{ m/s}$$

3- Propagation des ondes ultrasonores dans l'air

3-1- Explication à l'observation :

Les deux signaux dans l'air ne sont plus en phase : la vitesse de propagation dépend du milieu, la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore va diminuer par ce qu'on change le milieu de l'eau à l'air (air est moins dense que l'eau) et la distance change aussi : $v_a < v_e \Rightarrow d_a \ll d_e$

3-2- Calcul de d_{min} :

Calculons d'abord la longueur d'onde λ' dans l'air :

$$\lambda' = v_a. T = 340 \times 20.10^{-6} = 6,8.10^{-3} \text{ m}$$

Comparons d et λ' :

$$\frac{d}{\lambda'} = \frac{3 \times 10^{-2}}{6,8 \times 10^{-3}} = 4,412$$

$$d' = 4,412 \lambda'$$

Pour que les deux signaux soient de nouveau en phase il faut que $d' = 5\lambda'$

Donc la distance minimale qu'il faut ajouter pour que les deux signaux soient en phase est :

$$d_{min} = 5\lambda' - d = 5\lambda' - 4,412\lambda' = 0,588 \lambda' = 3,99.10^{-3} \text{ m}$$

$$d_{min} \approx 4 \text{ mm}$$