Exercices ondes mécaniques progressives périodiques

Exercices 1

Un robinet goutte de façon régulière à la surface d'une eau calme à raison de 120 gouttes par minute, en créant une onde progressive sinusoïdale. La distance entre deux crêtes est 8 cm.

1. Que vaut la vitesse V de propagation de l'onde ?

2. Sachant que 1 Hertz correspond à 1 s^{-1}, retrouver, par une analyse dimensionnelle de la formule $\lambda = \frac{v}{N}$, la dimension de λ.

Correction de l'exercice 1

Indication *: déterminez d'abord les périodes spatiale et temporelle de l'onde.*

Rappel *: la période temporelle T est l'inverse de la fréquence* N.

1. Il tombe 120 gouttes par minute, c'est-à-dire 120/60 = 2 gouttes par seconde.

La fréquence de la chute des gouttes, et par conséquent celle de l'onde, est donc $N = 2\ Hz$. De plus, $T = 1/N = 1/2 = 0{,}5\,s$; donc la période temporelle est $T = 0{,}5$ s.

Lors de la propagation de l'onde, une crête de vague prend la place de celle qui la précède en T secondes. Par définition, la période spatiale est la distance entre deux crêtes ; la période spatiale est ici λ = 8 cm = 0,08 m.

Comme l'onde parcourt λ mètres en T secondes, sa vitesse est : $v = \frac{\lambda}{T}$, soit $v = \frac{0{,}08}{0{,}05} = 0{,}16\ m/s$.

2. Par analyse dimensionnelle, on a : $[\lambda] = \left[\frac{v}{N}\right] = \frac{\frac{L}{T}}{\frac{1}{T}} = \frac{L}{T} \times \frac{T}{1} = L$

λ est bien une longueur.

Exercice N°2 : Etude des ondes sonores

1. Quelques caractéristiques des ondes sonores :
1.1.Pourquoi peut-on dire que les ondes sonores sont des ondes mécaniques ?
1.2. Choisir la (ou les) bonne(s) caractéristique(s) qui qualifie(nt) une onde sonore, en expliquant la signification des caractéristiques choisies :
a) progressive b) tridimensionnelle c) transversale d) longitudinale
1.3. Choisir dans la liste le (ou les) «milieu(x)» dans lequel le son ne se propage pas :
a) acier b) béton c) vide d) eau

2. Ondes sonores produites par un avion :
Un avion vole à la vitesse v_{avion} = 800 km.h^{-1} . On veut savoir s'il se déplace à une vitesse supérieure à la célérité du son sachant que cette dernière dépend de la température.

2.1. La célérité du son peut se calculer en première approximation par la relation $v_{son}(\theta) = v_{son}(0°C) \times \sqrt{1+\frac{\theta}{273}}$
avec θ la température en degré Celsius et v_{son} (0°C) = 3,3×10^2 m.s^{-1}.

Calculer la célérité des ondes sonores à l'altitude de 10 km en considérant que la température θ de l'air vaut - 50°C.

Correction de l'exercice N°2 : Etude des ondes sonores

1. Les ondes sonores ne peuvent pas se propager dans le vide, leur propagation nécessite un milieu matériel, ce sont donc des ondes mécaniques.

2. Une onde sonore se propage, c'est donc une onde **a) progressive**. Elle se propage dans toutes les directions qui lui sont offertes, il s'agit d'une onde **b) tridimensionnelle**. La direction de la propagation de l'onde sonore est parallèle à la direction de la perturbation, c'est une onde **d) longitudinale**.
Propositions a), b) et d) sont correctes.
1.3 Le son se propage dans tous les milieux matériels mais ne se propage pas dans le **c) vide**.

2.1 $v_{son}(\theta) = v_{son}(0°C) \times \sqrt{1+\frac{\theta}{273}}$

$v_{son}(-50°C) = 3{,}3\times10^2 \times \sqrt{1+\frac{-50}{273}}$

$v_{son}(-50°C) = 3{,}0\times10^2$ m.s^{-1}

2.2 L'avion vole à une vitesse de v = 800 km.h^{-1}, soit en m.s^{-1} $v = \frac{800\times10^3}{3600} = 222$ m.s^{-1}

La vitesse v est inférieure à celle du son à -50°C, l'avion **n'a pas passé le mur du son**.

Exercice 3: le claquement d'un coup de fouet

Un artiste de cirque veut faire claquer son fouet ; pour ce faire, il génère, d'un mouvement de poignet, un ébranlement qui se déplace à la célérité v le long de la lanière en cuir du fouet.

1. Cette célérité v dépend de la tension F de la lanière et de sa masse linéique μ (masse par unité de longueur) suivant la relation $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$.
Montrer, par une analyse dimensionnelle, l'homogénéité de cette relation.
2. On simule à l'aide d'un logiciel la propagation de la perturbation le long de la lanière et on obtient la position de l'ébranlement à différentes dates séparées d'un intervalle de temps $\Delta t = 3{,}5\times10^{-2}$ s (voir figure 1).
La lanière du fouet a une longueur L = 3,0 m.

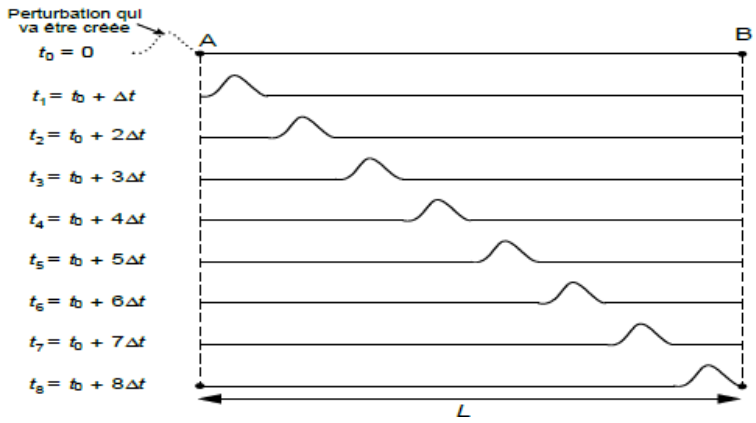


Figure 1. Propagation de la perturbation le long de la lanière

2.1. Calculer la durée τ mise par l'onde pour parcourir toute la lanière.
2.2. En déduire la valeur de la célérité v de l'onde.
2.3. En réalité, la section de la lanière du fouet diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la poignée ; la masse linéique μ diminue donc. Si on suppose que la tension F est constante, comment évolue la célérité de l'onde le long de la lanière, de la poignée à son extrémité ?

3. On s'intéresse maintenant à la vitesse de déplacement transversal de la mèche qui correspond à l'extrémité du fouet.
On enregistre son mouvement avec une caméra ultra-rapide. La fréquence de prise de vue est de 4000 images par seconde. Entre deux images successives, la mèche, du fait de la propagation de la vibration, se déplace d'une distance d = 11 cm (voir figure 2).
En déduire la vitesse v' de déplacement de la mèche. Dans ces conditions, le mur du son a-t-il été passé par la mèche ?
Donnée : célérité du son dans l'air à 20°C : $v_{son} = 340\ m.s^{-1}$

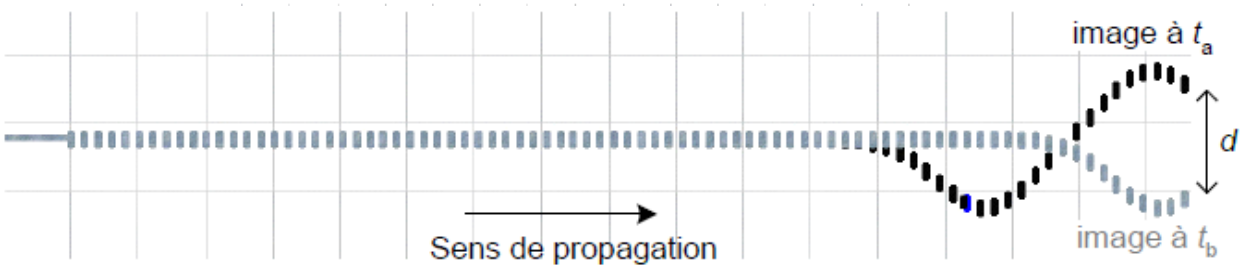


Figure 2. Positions de la mèche du fouet à deux instants t_a et t_b

Correction de l'exercice 3: le claquement d'un coup de fouet

1. Pour montrer l'homogénéité de cette relation il suffit de montrer que $\sqrt{\frac{F}{\mu}}$ *est homogène à une vitesse :*

$F = m.a$ et $\mu = \frac{m}{L}$

$[F] = [m].[a]$ $\quad [\mu] = \frac{[m]}{[L]}$

$[F] = M.\frac{L}{T^2}$ $\quad [\mu] = \frac{M}{L}$

$$\left[\sqrt{\frac{F}{\mu}}\right] = \sqrt{\frac{[F]}{[\mu]}} = \left[\sqrt{\frac{M.\frac{L}{T^2}}{\frac{M}{L}}}\right] = \left[\sqrt{M.\frac{L}{T^2}.\frac{L}{M}}\right] = \left[\sqrt{\frac{L^2}{T^2}}\right] = \left[\frac{L}{T}\right]$$ *ce qui est homogène à une vitesse.*

Www.AdrarPhysic.Fr

2.

2.1. D'après la figure 1, la perturbation met une durée $\tau = 8.\Delta t$ pour atteindre l'extrémité de la lanière, soit $\tau = 8\times3,5\times10^{-2}$ s

$\tau = 0,28$ s

2.2. La lanière a une longueur L = 3,0 m

$$v = \frac{L}{\tau}$$

$$v = \frac{3,0}{0,28} = 11\ m.s^{-1}$$

2.3. $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ *F est constante et la masse linéique μ diminue, donc la vitesse augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la poignée.*

3. Entre deux images il s'écoule une durée de $\tau' = 1/4000$ s pour une distance d = 11 cm

$$v' = \frac{d}{\tau'}$$

$$v' = \frac{0,11}{\frac{1}{4000}} = 0,11\times4000 = 4,4\times10^{2}\ m.s^{-1}$$

Cette vitesse est supérieure à 340 $m.s^{-1}$, le mur du son a été dépassé par la mèche.

Exercice 4: Etude d'ondes mécaniques dans l'eau

Partie 1 :

Des ondes rectilignes sinusoïdales sont crées à la surface d'une cuve à ondes. Un bouton de réglage permet de faire varier la fréquence de ces ondes. Afin de mesurer les longueurs d'onde on utilise un éclairage stroboscopique, qui stabilise l'image.

Pour chaque fréquence, on mesure sur l'écran, la distance D séparant dix franges brillantes consécutives. Le grandissement de l'image formée sur l'écran est $\gamma = 1,79$.

1) Donner l'expression de la longueur d'onde réelle l des ondes à la surface de l'eau en fonction de D et γ. Puis exprimer la vitesse V de ces ondes en fonction de λ et f puis des données du problème.

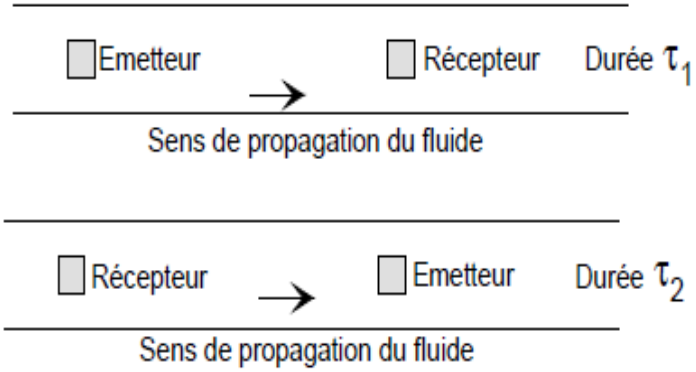
2) Compléter le tableau suivant :

F (Hz)	11	14	17	20	23	27	30	33	36
D (mm)	230	184	154	132	118	105	98	94	90
V (m/s)									
λ ((m)									

Partie 2 :

On admet que la vitesse de propagation $\vec{v}$ d'une onde ultrasonore dans un fluide, lui-même en mouvement à la vitesse $\vec{\mu}$, est donné par la relation $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{\mu}$.

Où $\vec{v}_0$ est la célérité dans le fluide au repos



Un émetteur et un récepteur sont introduits, en deux points de l'axe d'une canalisation d'eau, et séparés par une distance D (voir schéma). On mesure la durée τ_1 de propagation d'un train d'onde entre l'émetteur et le récepteur. Quand on permute les positions de récepteur et de l'émetteur, la durée de propagation est τ_2.

1) Exprimer τ_1 et τ_2 en fonction de v_0 et μ

2) Quelle relation a-t-on entre v_0, μ, D et $\tau = \tau_2 - \tau_1$?

3) Que devient la relation si μ est faible devant v_0 ?

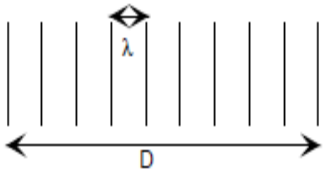
4) Exprimer puis calculer la valeur de μ si $\tau = 2\,\mu m$,

D = 1 m et v_0 = 1500 m.s-1

5) Quel peut-être l'application de telles mesures ?

Correction de l'exercice 4: Etude d'ondes mécaniques dans l'eau

Partie 1 :



1) La distance séparant deux franges brillantes consécutives est égale à la longueur d'onde λ.

Tenir compte du grandissement : $9\,\lambda = D / \gamma$ soit $\lambda = \frac{D}{9\,\gamma}$.

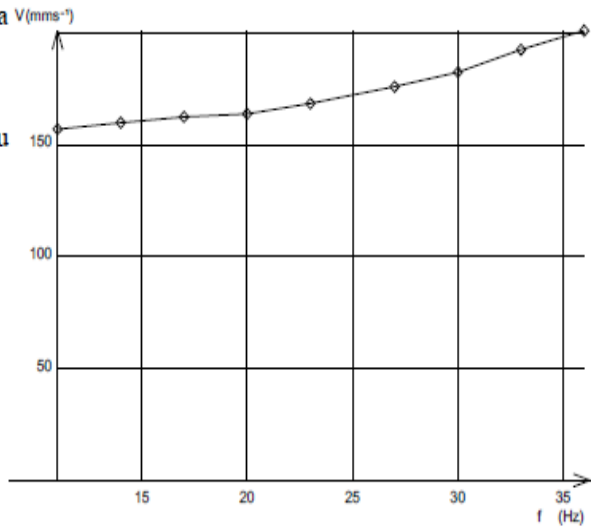
La célérité V (m/s) est égale à la longueur d'onde (m) fois la fréquence (Hz) : $V = \lambda . f = \frac{D.f}{9\,\gamma}$.

2)

F (Hz)	11	14	17	20	23	27	30	33	36
D (mm)	230	184	154	132	118	105	98	94	90
V (m/s)	0.157	0.160	0.162	0.164	0.168	0.176	0.182	0.193	0.201
λ ((m)	0.0143	0.0114	0.0096	0.0082	0.0073	0.0065	0.0061	0.0058	0.0056

Partie 2 :

3) Le rapport V/f n'est pas constant : la célérité V dépend de la fréquence. La surface de l'eau constitue un milieu dispersif.



Partie 2

1) Distance = vitesse * temps donc suivant le sens d'écoulement du fluide, on a : $\tau_1 = \frac{D}{V_0 + \mu}$ $\tau_2 = \frac{D}{V_0 - \mu}$

2)

$$\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{D}{V_0 - \mu} - \frac{D}{V_0 + \mu} = \frac{D.(V_0 + \mu) - D(V_0 - \mu)}{(V_0 + \mu).(V_0 - \mu)} = \frac{2.D.\mu}{V_0^2 - \mu^2}$$

$$\tau = \frac{2.D.\mu}{V_0^2 - \mu^2}$$

3) Si μ est faible devant v_0 alors cette relation devient : $\tau = \frac{2.D.\mu}{V_0^2}$

4) De la relation précédente, on tire μ : $\mu = \frac{\tau . V_0^2}{2.D}$ AN : $\mu = \frac{2.10^{-6} \times 1500^2}{2.1} = 2{,}25\ m.s^{-1}$

5) Application : mesure de la vitesse d'écoulement d'un liquide.

Exercice 5 : Exploration sous-marine

Un sonar utilise un émetteur-récepteur qui envoie de brèves impulsions d'ondes de fréquences 40 kHz (fig.1).

La vitesse de propagation de ces ondes dans l'eau de mer est égale à 1500 $m.s^{-1}$.

1- A partir des informations fournies (fréquence, vitesse de propagation) préciser la nature des ondes utilisées par le sonar. Justifier votre réponse.



2- Ce type d'onde se propagerait-il plus ou moins vite dans l'air ? Justifier.
3- Le sonar reçoit un signal réfléchi 0,53 s après l'émission. Exprimer littéralement la distance à laquelle il se trouve de l'obstacle puis faire le calcul.
4- Pour quelle technique de diagnostic médical un tel type d'onde est-il utilisé ?

Correction de l'exercice 5 : Exploration sous-marine

1- La vitesse des ondes étant de 1500 $m.s^{-1}$, ce ne sont pas des ondes électromagnétiques mais des ondes sonores. De plus la fréquence est supérieur à 20 kHz ce sont donc des ondes ultrasonores.
2- Les ondes sonores se propagent plus vite dans les milieux denses comme les liquides et les solides que dans les gaz.
3- Le temps mis par les ultrasons pour aller de l'émetteur à l'obstacle puis revenir est de $\Delta t = 0{,}53$ s, la distance d à laquelle il se trouve de l'obstacle est donnée par la relation :

$$d = \frac{v \times \Delta t}{2} \qquad \text{A.N. : d} = 398 \text{ m}$$

4- Ce type d'onde est utilisé pour réaliser des échographies.

Exercice 6: Le sonar.

Un sonar utilise un émetteur-récepteur qui envoie de brèves impulsions d'ondes de fréquence 40 kHz. La vitesse de propagation de ces ondes dans l'eau de mer est égale à 1500 $m.s^{-1}$.
1- Quelle est la nature des ondes utilisées par le sonar. Justifier.
2- Ce type d'onde se propagerait-il plus vite, moins vite ou à la même vitesse dans l'air ?
Le sonar reçoit un signal réfléchi 0,53 s après l'émission.
3- A quelle distance se trouve-t-il de l'obstacle ?
4- Un banc de poissons peut-il être détecté par cette technique :
a- La nuit ?
b- Par temps de brouillard ?
c- Derrière un gros rocher ?
d- A plusieurs centaines de kilomètres de distance ?
5- Pour quelle technique de diagnostic médical un tel type d'onde est-il utilisé ?

Correction de l'exercice 6: Sonar.

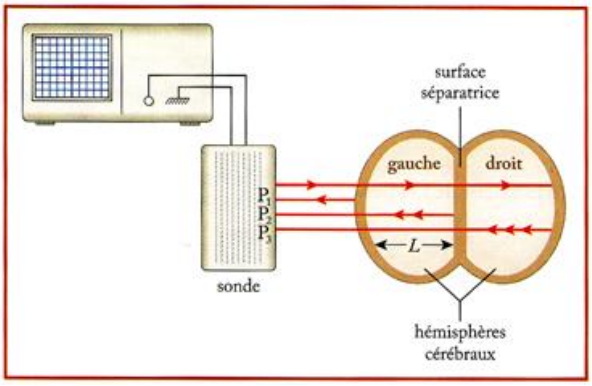
1- Les ondes utilisées par le sonar sont des ondes sonores (type mécanique), ce sont des ondes ultrasonores.
2- Ce type d'onde se propagerait moins vite dans l'air.
3- La distance à laquelle se trouve l'obstacle se déduit de la formule suivante :
V = d / Δt donc **d = v x Δt** avec **Δt : durée d'un aller = 0,53 / 2**.
Donc **d** = 1500 x 0,53 / 2 = **398 m**
4- Un banc de poissons peut-il être détecté par cette technique :
a- La nuit ? **Oui les ondes ultrasonores se propagent dans le noir.**
b- Par temps de brouillard ? **Oui, sous l'eau le brouillard n'intervient pas.**
c- Derrière un gros rocher ? **Non, les ondes ultrasonores ne traversent pas un rocher.**
d- A plusieurs centaines de kilomètres de distance ? **Non, les ondes seront amorties.**
5- La technique de diagnostic médical qui utilise des ondes ultrasonores est **l'échographie.**

Exercice 7 : Echographie

Données :
- $1\ \mu s = 10^{-6}\ s$

- *Vitesse de propagation des ondes émises par la sonde dans le cerveau : v = 1500 m.s^{-1}*

On peut mesurer, par échographie, la taille du cerveau pour diagnostiquer une éventuelle tumeur qui en changerait les dimensions (dans ce cas, les deux hémisphères auraient une largeur différente).



Une sonde envoie des ondes (voir schéma ci-dessous, qui n'est pas à l'échelle) et le détecteur reçoit 3 échos dont les durées entre l'émission et la réception sont :

- $\Delta t_1 = 10$ µs pour le signal P_1,
- $\Delta t_2 = 160$ µs pour le signal P_2,
- $\Delta t_3 = 300$ µs pour le signal P_3.

1- En détaillant le raisonnement, déterminer la durée Δtmise par les ondes pour parcourir l'hémisphère gauche. En déduire la largeur L de cet hémisphère.

2- Mêmes questions pour l'hémisphère droit (ne donner que les résultats).

3- Que peut-on en conclure ?

Correction de l'exercice 7 : Echographie

1-Les durées indiquées correspondent au parcours aller-retour dans chaque cas donc $\Delta t_2 - \Delta t_1 = 150$ µs correspond à la durée que les ondes mettent pour parcourir l'aller-retour dans l'hémisphère gauche donc $\Delta t = 150 / 2 = 75{,}0$ µs pour parcourir l'hémisphère

$L = v \times \Delta t = 1500 \times 75{,}0 \times 10^{-6} = 0{,}113$ m = 11,3 cm

2- $\Delta t' = (\Delta t_3 - \Delta t_2) / 2 = 140 / 2 = 70$ µs

$L' = v \times \Delta t' = 1500 \times 70 \times 10^{-6} = 0{,}105$ m = 10,5 cm

3- L différent de L', il y a donc une tumeur.

Www.AdrarPhysic.Fr