BURHAN

Ondes mécaniques progressives périodiques : exercices, niveau examen

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/ondes-mecaniques-progressives-periodiques/exercices/examen

Chapitre	Palier	Exercices
Ondes mécaniques progressives périodiques	Niveau examen	5

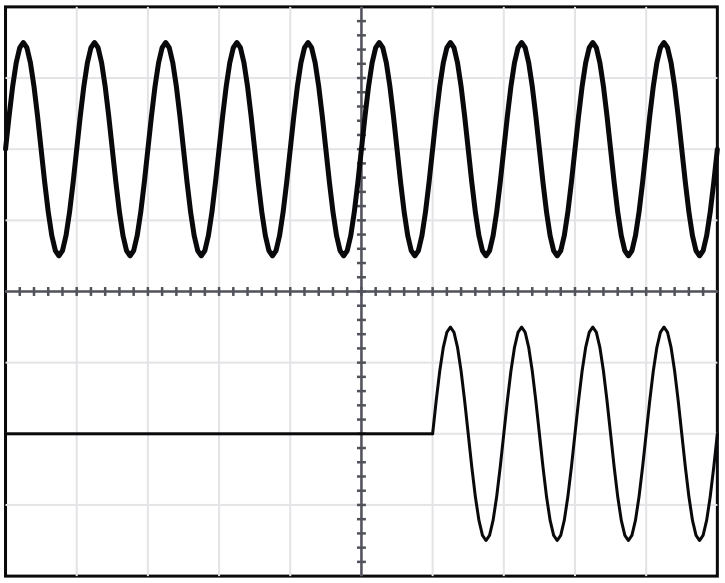
Exercice 1 6 pts

Sonde d'échographie : période, retard et finesse de l'image

Une sonde d'échographie émet des ultrasons dans un gel qui imite les tissus mous du corps humain ; ils s'y propagent à $v = 1{,}54 \times 10^{3}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Pour tester la sonde, on place un petit récepteur dans le gel, face à elle.

L'oscilloscope est déclenché quand la sonde commence à émettre. La voie Y_1 montre la tension appliquée à la sonde, la voie Y_2 celle du récepteur.

Document. Oscillogramme ; balayage $0{,}5\ \mu\mathrm{s/div}$; voie Y_1 : $2\ \mathrm{V/div}$; voie Y_2 : $100\ \mathrm{mV/div}$.



Voie Y_1 : 2 V/div, zéro 2 divisions au-dessus du centre

Voie Y_2 : 100 mV/div, zéro 2 divisions au-dessous du centre Balayage : 0,5 μs/div

Signal émis (voie Y1, 2 V/div) et signal reçu (voie Y2, 100 mV/div) ; balayage 0,5 microseconde par division

A.1. 1 pts

Partie A : exploitation de l'oscillogramme.

Déterminer la période T des ultrasons en exploitant dix périodes, puis calculer leur fréquence N.

INDICE

Outil : compte les motifs de la voie Y_1 sur toute la largeur de l'écran, puis convertis avec le balayage.

CORRIGÉ

Lecture. Dix périodes occupent les 10 divisions de l'écran :

$$\begin{aligned} 10\,T &\approx 10\,\text{div} \\ &\times\, 0{,}5\,\mu\text{s/div} \\ 10\,T &\approx 5{,}0\,\mu\text{s} \end{aligned}$$

donc $T \approx 0{,}50\,\mu\text{s} = 5{,}0\times10^{-7}\,\text{s}$.

Fréquence.

$$\begin{aligned} N &= \frac{1}{T} \\ N &= \frac{1}{5{,}0\times10^{-7}\,\text{s}} \\ N &= 2{,}0\times10^{6}\,\text{Hz} \end{aligned}$$

Conclusion. La période vaut environ $0{,}50\,\mu\text{s}$ et la fréquence $2{,}0\,\text{MHz}$.

A.2. 0,5 pts

Un son de fréquence supérieure à $20\,\text{kHz}$ est un ultrason. Justifier que la sonde émet des ultrasons.

INDICE

Outil : compare les deux fréquences dans la même unité.

CORRIGÉ

Comparaison. $N = 2{,}0\,\text{MHz} = 2{,}0\times10^{3}\,\text{kHz}$, bien au-dessus de $20\,\text{kHz}$.

Conclusion. La fréquence dépasse $20\,\text{kHz}$: la sonde émet des ultrasons.

A.3. 0,5 pts

Déterminer le retard τ du signal reçu sur le début de l'émission.

INDICE

Outil : repère, sur la voie Y_2, la division où la trace cesse d'être plate.

CORRIGÉ

Lecture. La voie Y_2 reste plate pendant $6{,}0$ divisions :

$$\begin{aligned} \tau &\approx 6{,}0\,\text{div} \\ &\times\, 0{,}5\,\mu\text{s/div} \\ \tau &\approx 3{,}0\,\mu\text{s} \end{aligned}$$

Conclusion. Les ultrasons atteignent le récepteur avec un retard $\tau \approx 3{,}0\,\mu\text{s}$.

A.4. 1 pts

En déduire la distance d entre la sonde et le récepteur.

INDICE

Outil : la relation entre retard, distance et célérité, en unités du système international.

CORRIGÉ

Relation. Avec $\tau = 3{,}0 \times 10^{-6}\,\mathrm{s}$:

$$\begin{aligned} d &= v\,\tau \\ d &= 1{,}54 \times 10^{3}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}} \\ &\quad \times 3{,}0 \times 10^{-6}\,\mathrm{s} \\ d &\approx 4{,}6 \times 10^{-3}\,\mathrm{m} \end{aligned}$$

Conclusion. Le récepteur est à environ $4{,}6\,\mathrm{mm}$ de la sonde.

B.1. 1 pts

Partie B : longueur d'onde et finesse de l'image. On admet que les ultrasons ont une fréquence $N = 2{,}0\,\mathrm{MHz}$ et se propagent dans le gel à $v = 1{,}54 \times 10^{3}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

À partir de la définition de la longueur d'onde et de la relation entre retard, distance et célérité, montrer que

$$\lambda = v\,T$$

INDICE

Outil : la longueur d'onde est une distance parcourue pendant une durée bien précise ; laquelle ?

CORRIGÉ

Distance parcourue. Dans le gel, homogène, l'onde avance à la célérité constante v : pendant une durée Δt, elle parcourt $d = v\,\Delta t$.

Définition. La longueur d'onde est la distance parcourue pendant une période, donc avec $\Delta t = T$:

$$\lambda = v\,T$$

Conclusion. La longueur d'onde est égale au produit de la célérité par la période : $\lambda = v\,T$.

B.2. 0,5 pts

Calculer la longueur d'onde λ des ultrasons dans le gel.

INDICE

Outil : $T = \dfrac{1}{N}$, donc $\lambda = \dfrac{v}{N}$.

CORRIGÉ

Calcul.

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{v}{N} \\ \lambda &= \frac{1{,}54 \times 10^{3}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}}{2{,}0 \times 10^{6}\,\mathrm{Hz}} \\ \lambda &\approx 7{,}7 \times 10^{-4}\,\mathrm{m} \end{aligned}$$

Conclusion. La longueur d'onde vaut environ $0{,}77\,\mathrm{mm}$.

B.3. 0,75 pts

Deux points du gel, sur l'axe de la sonde, sont distants de $3{,}85\,\mathrm{mm}$; deux autres, de $2{,}70\,\mathrm{mm}$. Comparer l'état vibratoire des points de chaque paire.

INDICE

Outil : le rapport de la distance à la longueur d'onde, avec $\lambda = 0{,}77\,\mathrm{mm}$.

CORRIGÉ

Première paire. $\dfrac{3{,}85\,\mathrm{mm}}{0{,}77\,\mathrm{mm}} = 5{,}0$, un entier : les deux points vibrent en phase.

Seconde paire. $\dfrac{2{,}70\,\mathrm{mm}}{0{,}77\,\mathrm{mm}} \approx 3{,}5$, un entier plus un demi : les deux points vibrent en opposition de phase.

Conclusion. Les points distants de $3{,}85\,\mathrm{mm}$ vibrent en phase ; ceux distants de $2{,}70\,\mathrm{mm}$, en opposition de phase.

B.4. `0,75 pts`

Une image d'échographie ne distingue que des détails de taille supérieure à une longueur d'onde environ. Montrer qu'il faut une fréquence d'au moins $5\,\mathrm{MHz}$ environ pour distinguer un détail de $0{,}30\,\mathrm{mm}$.

INDICE

Début : traduis la condition par $\lambda \leq 0{,}30\,\mathrm{mm}$. **Ensuite :** relie λ à N avec la célérité du gel.

CORRIGÉ

Condition. Il faut $\lambda = \dfrac{v}{N} \leq 3{,}0 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}$, soit $N \geq \dfrac{v}{3{,}0 \times 10^{-4}}$.

Fréquence minimale.

$$\begin{aligned} N_{\min} &= \frac{v}{3{,}0 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}} \\ &= \frac{1{,}54 \times 10^{3}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}}{3{,}0 \times 10^{-4}\,\mathrm{m}} \\ N_{\min} &\approx 5{,}1 \times 10^{6}\,\mathrm{Hz} \end{aligned}$$

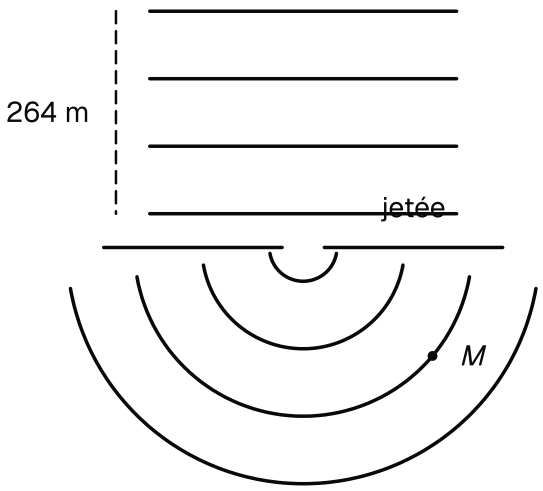
Conclusion. Il faut une fréquence d'au moins $5{,}1\,\mathrm{MHz}$ environ : la sonde de $2{,}0\,\mathrm{MHz}$ ne suffit pas pour ce détail.

Exercice 2 6 pts

Houle à l'entrée d'un port : mesures et diffraction

À l'entrée d'un port, une jetée percée d'une passe de largeur $a = 55\,\text{m}$ protège le bassin. La houle arrive du large. Une bouée ancrée devant la jetée effectue 10 oscillations complètes en $75\,\text{s}$.

Document. Vue de dessus de l'entrée du port, d'après une photographie aérienne ; les longueurs affichées sont les longueurs réelles. Le point M marque un voilier au mouillage dans le port.



Crêtes de la houle devant la jetée et dans le port

A.1. 0,75 pts

Partie A : la houle au large.

Calculer la période T de la houle, puis sa fréquence N.

INDICE

Outil : une oscillation complète de la bouée dure une période.

CORRIGÉ

Période. $10\,T = 75\,\text{s}$, donc $T = 7{,}5\,\text{s}$.

Fréquence. $N = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{7{,}5\,\text{s}} \approx 0{,}13\,\text{Hz}$.

Conclusion. La houle a une période de $7{,}5\,\text{s}$ et une fréquence d'environ $0{,}13\,\text{Hz}$.

A.2. 1 pts

Déterminer la longueur d'onde λ de la houle à l'aide du document.

INDICE

Outil : le trait pointillé, à côté des crêtes du large ; compte les intervalles qu'il couvre.

CORRIGÉ

Lecture. Le trait pointillé va de la première à la quatrième crête : trois intervalles, pour une longueur affichée de $264\,\mathrm{m}$.

Calcul. $3\,\lambda = 264\,\mathrm{m}$, donc $\lambda = 88\,\mathrm{m}$.

Conclusion. La longueur d'onde de la houle vaut $88\,\mathrm{m}$.

A.3. 0,75 pts

Montrer que la houle avance à une célérité d'environ $12\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

INDICE

Outil : la relation entre longueur d'onde, célérité et période.

CORRIGÉ

Relation. $\lambda = v\,T$, donc $v = \dfrac{\lambda}{T}$:

$$v = \frac{88\,\mathrm{m}}{7{,}5\,\mathrm{s}}$$
$$v \approx 12\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

Conclusion. La houle avance à environ $12\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$, avec deux chiffres significatifs comme T.

B.1. 0,75 pts

Partie B : la houle dans le port. On admet que la houle a une longueur d'onde $\lambda = 88\,\mathrm{m}$, une période $T = 7{,}5\,\mathrm{s}$ et une célérité $v = 12\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

Justifier que la houle est nettement diffractée par la passe.

INDICE

Outil : la condition d'obtention de la diffraction.

CORRIGÉ

Comparaison. La passe mesure $a = 55\,\mathrm{m}$, moins que $\lambda = 88\,\mathrm{m}$.

Conclusion. La condition $a \leq \lambda$ est remplie : la houle est nettement diffractée par la passe.

B.2. 1,25 pts

Décrire les vagues dans le port : forme des crêtes, longueur d'onde, période, célérité et amplitude.

INDICE

Outil : les caractéristiques de l'onde diffractée ; regarde aussi la forme des crêtes sur le document.

CORRIGÉ

Forme. Dans le port, les crêtes sont des arcs de cercle centrés sur la passe.

Caractéristiques. L'eau est la même des deux côtés de la jetée : la houle diffractée garde $T = 7{,}5\,\mathrm{s}$, $v = 12\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$ et $\lambda = 88\,\mathrm{m}$. Son amplitude est plus faible qu'au large.

Conclusion. Dans le port, la houle forme des crêtes circulaires de même longueur d'onde, de même période et de même célérité qu'au large, mais de plus faible amplitude.

B.3. 0,75 pts

Le voilier M n'est pas dans l'axe de la passe. Est-il secoué par la houle ? Justifier à l'aide du document.

INDICE

Outil : suis les arcs de crête jusqu'à la position du voilier.

CORRIGÉ

Document. Les arcs centrés sur la passe s'étendent loin de son axe ; l'un d'eux passe par le point M : le voilier est atteint par les crêtes diffractées.

Interprétation. Grâce à la diffraction, la houle se propage dans des directions qu'elle n'avait pas au large, avec une amplitude réduite.

Conclusion. Le voilier est secoué par la houle diffractée, mais moins qu'il ne le serait au large.

B.4. 0,75 pts

Pour accueillir de plus grands navires, on propose d'élargir la passe à $250\,\mathrm{m}$. Discuter l'effet de ce projet sur l'agitation du port.

INDICE

Début : compare la nouvelle largeur à λ. **Point délicat :** relis les mots exacts de la condition de diffraction.

CORRIGÉ

Comparaison. $\dfrac{250\,\mathrm{m}}{88\,\mathrm{m}} \approx 2{,}8$: la passe serait près de trois fois plus large que λ.

Effet. La diffraction deviendrait faible : la houle entrerait avec des crêtes presque rectilignes, peu affaiblies, dans l'axe de la passe. Les zones éloignées de l'axe resteraient moins agitées.

Conclusion. Élargir la passe rendrait l'axe du port nettement plus agité ; la protection offerte par la jetée diminuerait.

Exercice 3 6 pts

Fil d'acier éclairé au stroboscope : fréquence et opposition de phase

Un fil d'acier horizontal est tendu entre une lame vibrante, entretenue par un électroaimant, et un dispositif qui absorbe les ondes à l'autre extrémité. La lame impose au point S du fil un mouvement sinusoïdal transversal. On éclaire le fil avec un stroboscope de fréquence N_e réglable.

Document. Observations, en partant d'une fréquence élevée.

N_e	**Aspect du fil**
$200\,\text{Hz}$	immobile, deux aspects superposés
$101\,\text{Hz}$	ondule lentement vers la lame
$100\,\text{Hz}$	immobile, aspect unique
$99\,\text{Hz}$	ondule lentement vers l'absorbeur
$50\,\text{Hz}$	immobile, aspect unique

Sur l'aspect immobile obtenu à $100\,\text{Hz}$, cinq longueurs d'onde occupent $1{,}20\,\text{m}$.

A.1. 0,5 pts

Partie A : stroboscopie du fil.

Déterminer la fréquence N de l'onde à partir du document. Justifier.

INDICE

Outil : que se passe-t-il pour chaque point du fil entre deux éclairs, pour chaque valeur de N_e ?

CORRIGÉ

Choix. $100\,\text{Hz}$ et $50\,\text{Hz}$ donnent un aspect unique immobile ; à $200\,\text{Hz}$, deux aspects se superposent.

Conclusion. La plus grande fréquence donnant un aspect unique immobile est la fréquence de l'onde : $N = 100\,\text{Hz}$.

A.2. 0,5 pts

Expliquer pourquoi le fil paraît aussi immobile à $50\,\text{Hz}$.

INDICE

Outil : combien de périodes de l'onde séparent deux éclairs ?

CORRIGÉ

Durées. $T = \dfrac{1}{100\,\text{Hz}} = 1{,}0 \times 10^{-2}\,\text{s}$; deux éclairs sont séparés de $\dfrac{1}{50\,\text{Hz}} = 2{,}0 \times 10^{-2}\,\text{s}$, soit $2\,T$.

Conclusion. Entre deux éclairs, chaque point du fil fait deux oscillations complètes : il est éclairé dans la même position, et le fil paraît immobile.

A.3. 0,75 pts

Interpréter les observations faites à $99\,\mathrm{Hz}$ et à $101\,\mathrm{Hz}$. Pourquoi les sens de déplacement apparents sont-ils opposés ?

INDICE

Début : compare, dans chaque cas, la durée entre deux éclairs à T. **Ensuite :** de combien l'onde a-t-elle avancé entre deux éclairs ?

CORRIGÉ

À $99\,\mathrm{Hz}$. Deux éclairs sont séparés d'un peu plus que T : l'onde a avancé d'un peu plus d'une longueur d'onde. L'aspect semble se décaler lentement dans le sens réel de propagation, vers l'absorbeur.

À $101\,\mathrm{Hz}$. Deux éclairs sont séparés d'un peu moins que T : l'onde a avancé d'un peu moins d'une longueur d'onde. L'aspect semble reculer lentement, vers la lame.

Conclusion. Ce sont deux mouvements ralentis apparents ; seul celui observé à $99\,\mathrm{Hz}$ montre le sens réel de propagation.

A.4. 0,75 pts

Calculer la longueur d'onde λ, puis la célérité v de l'onde le long du fil.

INDICE

Début : exploite la longueur mesurée sur l'aspect immobile. **Ensuite :** la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence.

CORRIGÉ

Longueur d'onde. $5\,\lambda = 1{,}20\,\mathrm{m}$, donc $\lambda = 0{,}240\,\mathrm{m}$.

Célérité.

$$\begin{aligned} v &= \lambda\,N \\ v &= 0{,}240\,\mathrm{m} \times 100\,\mathrm{Hz} \\ v &= 24{,}0\,\mathrm{m\cdot s^{-1}} \end{aligned}$$

Conclusion. La longueur d'onde vaut $0{,}240\,\mathrm{m}$ et l'onde se propage le long du fil à $24{,}0\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

B.1. 0,75 pts

Partie B : mouvement d'un point du fil. On admet que l'onde a une fréquence $N = 100\,\text{Hz}$ et se propage le long du fil à $v = 24{,}0\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, sans amortissement. L'élongation de S s'écrit

$$y_S(t) = Y_m \cos\left(\frac{2\pi}{T}\,t\right)$$

avec $Y_m = 2{,}0\,\text{mm}$ et $T = \dfrac{1}{N}$.

Calculer la longueur d'onde λ.

INDICE

Outil : la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence.

CORRIGÉ

Calcul.

$$\lambda = \frac{v}{N}$$
$$\lambda = \frac{24{,}0\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}{100\,\text{Hz}}$$
$$\lambda = 0{,}240\,\text{m}$$

Conclusion. La longueur d'onde vaut $0{,}240\,\text{m}$.

B.2. 1 pts

Le point M du fil est à la distance $SM = 0{,}360\,\text{m}$ de S. Calculer le retard τ du mouvement de M sur celui de S. En comparant τ à la période T, montrer que M vibre en opposition de phase avec S une fois atteint par l'onde.

INDICE

Début : la relation entre retard, distance et célérité. **Ensuite :** combien de périodes le retard contient-il ?

CORRIGÉ

Retard.

$$\tau = \frac{SM}{v}$$
$$\tau = \frac{0{,}360\,\text{m}}{24{,}0\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$$
$$\tau = 1{,}50\times10^{-2}\,\text{s}$$

Comparaison. $T = \dfrac{1}{N} = 1{,}00\times10^{-2}\,\text{s}$, donc $\tau = 1{,}50\,T$: un nombre entier de périodes plus une demi-période.

Conclusion. M reproduit le mouvement de S avec une période et demie de retard : une fois atteint par l'onde, il vibre en opposition de phase avec S.

B.3. 0,75 pts

Retrouver ce résultat à l'aide du rapport $\dfrac{SM}{\lambda}$.

INDICE

Outil : l'état vibratoire de deux points d'une même direction de propagation.

CORRIGÉ

Rapport.

$$\frac{SM}{\lambda} = \frac{0{,}360\,\text{m}}{0{,}240\,\text{m}}$$
$$\frac{SM}{\lambda} = 1{,}50$$

C'est un entier plus un demi : $SM = 3\,\dfrac{\lambda}{2}$.

Conclusion. Le rapport confirme que M vibre en opposition de phase avec la source S.

B.4. 1 pts

Établir que, pour $t \geq \tau$, $y_M(t) = -y_S(t)$, puis écrire $y_M(t)$ avec les valeurs numériques.

INDICE

Début : exprime le retard en nombre de périodes. **Ensuite :** que devient le cosinus quand on retranche un multiple de π à son argument ?

CORRIGÉ

Retard. Pour $t \geq \tau$, $y_M(t) = y_S(t - \tau)$, et $\dfrac{2\pi}{T}\,\tau = 3\pi$:

$$y_M(t) = y_S(t - \tau)$$
$$= Y_m \cos\left(\frac{2\pi}{T}\,t - 3\pi\right)$$

Trigonométrie. $\cos(\alpha - 3\pi) = \cos(\alpha - \pi - 2\pi) = \cos(\alpha - \pi) = -\cos\alpha$, donc $y_M(t) = -y_S(t)$.

Valeurs. $\dfrac{2\pi}{T} = 2\pi N = 200\pi\,\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

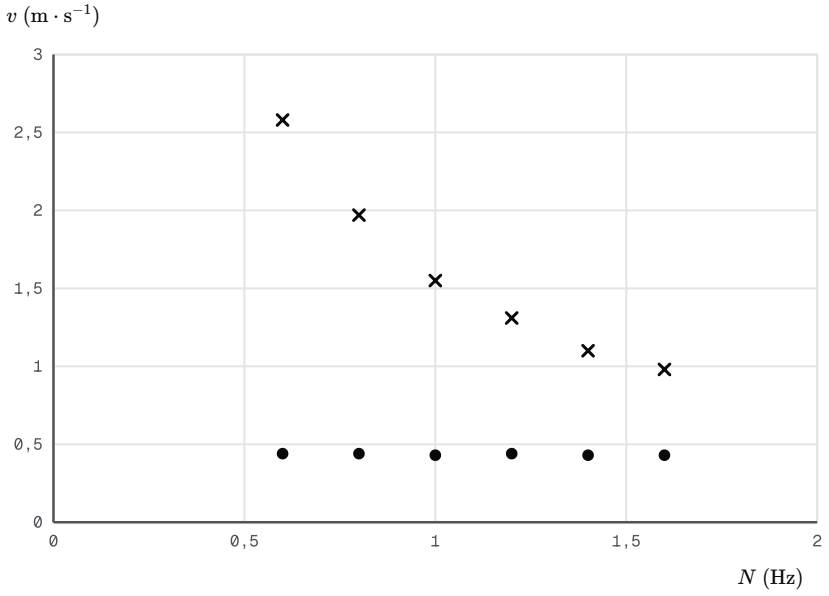
Conclusion. Pour $t \geq \tau$, $y_M(t) = -y_S(t) = -2{,}0\cos(200\pi\,t)$, en millimètres et en secondes.

Exercice 4 — 6 pts

Bassin à houle : dispersion, puis diffraction par des obstacles

Dans un grand bassin à houle de laboratoire, un batteur produit des vagues sinusoïdales de fréquence réglable. On mesure leur célérité dans deux zones : une zone profonde, et une zone où l'eau n'a que $2{,}0\,\mathrm{cm}$ de profondeur.

Document. Célérité v des vagues en fonction de leur fréquence N, dans les deux zones.



Célérité des vagues en fonction de la fréquence, dans les deux zones du bassin

A.1. — 0,75 pts

Partie A : deux zones du bassin.

Décrire, à l'aide du document, comment la célérité des vagues varie avec leur fréquence dans chaque zone, en citant deux valeurs pour chacune.

INDICE

Outil : suis chaque série de points de gauche à droite.

CORRIGÉ

Zone profonde. La célérité diminue nettement quand la fréquence augmente : d'environ $2{,}6\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ à $0{,}6\,\mathrm{Hz}$ à environ $1{,}0\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ à $1{,}6\,\mathrm{Hz}$.

Eau peu profonde. La célérité reste voisine de $0{,}44\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ sur tout le domaine de fréquences : environ $0{,}44\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ à $0{,}6\,\mathrm{Hz}$ comme à $1{,}6\,\mathrm{Hz}$.

Conclusion. La célérité dépend nettement de la fréquence en zone profonde, et presque pas en eau peu profonde.

A.2. 0,75 pts

En eau peu profonde, pour $N = 1{,}2\,\mathrm{Hz}$, on mesure $\lambda = 0{,}365\,\mathrm{m}$. Calculer la célérité et vérifier l'accord avec le document.

INDICE

Outil : la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence.

CORRIGÉ

Calcul.

$$\begin{aligned} v &= \lambda\, N \\ v &= 0{,}365\,\mathrm{m} \times 1{,}2\,\mathrm{Hz} \\ v &\approx 0{,}44\,\mathrm{m\cdot s^{-1}} \end{aligned}$$

Accord. Le document donne environ $0{,}44\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ à $1{,}2\,\mathrm{Hz}$ en eau peu profonde.

Conclusion. La célérité calculée, environ $0{,}44\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$, est en accord avec le document.

A.3. 0,75 pts

Laquelle des deux zones se comporte comme un milieu dispersif dans ce domaine de fréquences ? Justifier.

INDICE

Outil : la définition d'un milieu dispersif.

CORRIGÉ

Définition. Un milieu est dispersif si la célérité d'une onde sinusoïdale y dépend de sa fréquence.

Application. En zone profonde, la célérité varie fortement avec N ; en eau peu profonde, elle reste constante à la précision des mesures.

Conclusion. La zone profonde est un milieu dispersif ; l'eau peu profonde se comporte comme un milieu non dispersif dans ce domaine.

A.4. 0,75 pts

Prévoir la longueur d'onde de vagues de fréquence $0{,}60\,\mathrm{Hz}$ en eau peu profonde.

INDICE

Début : lis la célérité dans cette zone. **Ensuite :** emploie la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence.

CORRIGÉ

Célérité. En eau peu profonde, $v \approx 0{,}44\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$, quelle que soit la fréquence du domaine étudié.

Longueur d'onde.

$$\lambda = \frac{v}{N}$$
$$\lambda = \frac{0{,}44\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}}{0{,}60\,\mathrm{Hz}}$$
$$\lambda \approx 0{,}73\,\mathrm{m}$$

Conclusion. Ces vagues auraient en eau peu profonde une longueur d'onde d'environ $0{,}73\,\mathrm{m}$.

B.1. 1 pts

Partie B : vagues et obstacles en zone profonde. On admet qu'en zone profonde, une vague de fréquence $N = 0{,}70\,\mathrm{Hz}$ a une longueur d'onde $\lambda = 3{,}18\,\mathrm{m}$.

Elle rencontre un poteau cylindrique de diamètre $a = 0{,}50\,\mathrm{m}$. Comparer a et λ, puis dire ce que devient la vague derrière le poteau.

INDICE

Outil : la condition d'obtention de la diffraction s'applique aussi à un obstacle.

CORRIGÉ

Comparaison. $a = 0{,}50\,\mathrm{m}$ est bien plus petit que $\lambda = 3{,}18\,\mathrm{m}$.

Diffraction. L'obstacle diffracte nettement la vague : elle le contourne et se propage aussi derrière lui.

Conclusion. Derrière le poteau, on observe encore des vagues : le poteau ne crée presque pas de zone abritée.

B.2. 0,75 pts

Montrer que, derrière le poteau, la vague avance encore à environ $2{,}2\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$.

INDICE

Début : que deviennent la fréquence et la longueur d'onde d'une onde diffractée ? **Ensuite :** la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence.

CORRIGÉ

Onde diffractée. Le milieu est le même : la vague diffractée garde $N = 0{,}70\,\mathrm{Hz}$ et $\lambda = 3{,}18\,\mathrm{m}$.

Célérité.

$$\begin{aligned} v &= \lambda\, N \\ v &= 3{,}18\,\mathrm{m} \times 0{,}70\,\mathrm{Hz} \\ v &\approx 2{,}2\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1} \end{aligned}$$

Conclusion. Derrière le poteau, la vague avance toujours à environ $2{,}2\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$, comme avant l'obstacle.

B.3. 1,25 pts

Plus loin, la vague traverse un passage de largeur $a' = 5{,}0\,\mathrm{m}$ entre deux caissons. Un élève affirme : « a' est plus grande que λ, donc la vague n'est pas du tout diffractée. » Discuter cette affirmation.

INDICE

Début : calcule le rapport $\dfrac{a'}{\lambda}$. **Point délicat :** relis les mots exacts de la condition de diffraction.

CORRIGÉ

Rapport. $\dfrac{a'}{\lambda} = \dfrac{5{,}0\,\mathrm{m}}{3{,}18\,\mathrm{m}} \approx 1{,}6$: a' et λ sont du même ordre de grandeur.

Discussion. Le critère $a \leq \lambda$ ne donne qu'un ordre de grandeur. Avec un passage d'environ $1{,}6\,\lambda$, la diffraction persiste, plus faible : les crêtes se courbent encore derrière les caissons.

Conclusion. L'affirmation est fausse : la vague est encore diffractée par le passage, moins nettement que par une ouverture plus étroite que λ.

Exercice 5 6 pts

Chauve-souris : mesure de la longueur d'onde et chasse des insectes

Une chauve-souris chasse la nuit : elle émet des ultrasons et repère les insectes par leurs échos. Un insecte plus petit que la longueur d'onde est contourné par l'onde et renvoie peu d'écho ; un insecte plus grand renvoie un écho net.

Au laboratoire, un émetteur reproduit son cri à la fréquence $N = 45{,}0\,\text{kHz}$.

Deux récepteurs, reliés à un oscilloscope, sont placés devant l'émetteur sur une même direction de propagation. Au départ, leurs signaux sont en phase. On éloigne l'un d'eux et l'on relève sa distance d_k à sa position de départ chaque fois que les signaux redeviennent en phase.

Document. Relevés.

Rang k	d_k (cm)
0	0
1	$0{,}76$
2	$1{,}52$
3	$2{,}27$
4	$3{,}03$
5	$3{,}79$

A.1. 0,5 pts

Partie A : mesure de la longueur d'onde.

Expliquer pourquoi, entre deux lignes consécutives du tableau, le récepteur a été déplacé d'une longueur d'onde.

INDICE

Outil : l'état vibratoire de deux points distants d'un nombre entier de longueurs d'onde.

CORRIGÉ

En phase. Deux points d'une même direction de propagation vibrent en phase quand leur distance est un multiple entier de λ.

Coïncidences successives. Pour passer d'une coïncidence à la suivante, la distance des récepteurs doit donc augmenter de λ exactement.

Conclusion. Entre deux lignes consécutives du tableau, le récepteur mobile a avancé d'une longueur d'onde.

A.2. 0,75 pts

Montrer que $\lambda \approx 0{,}758\,\mathrm{cm}$, en exploitant tout le tableau.

INDICE

Outil : que représente la dernière ligne du tableau par rapport au point de départ ?

CORRIGÉ

Cinq longueurs d'onde. $d_5 = 5\,\lambda = 3{,}79\,\mathrm{cm}$.

Calcul. $\lambda = \dfrac{3{,}79\,\mathrm{cm}}{5} = 0{,}758\,\mathrm{cm}$.

Conclusion. Exploitée sur cinq longueurs d'onde, la mesure donne $\lambda \approx 0{,}758\,\mathrm{cm}$.

A.3. 0,75 pts

En déduire la célérité v des ultrasons dans l'air du laboratoire.

INDICE

Outil : la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence, en unités du système international.

CORRIGÉ

Conversions. $\lambda = 7{,}58 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}$ et $N = 4{,}50 \times 10^{4}\,\mathrm{Hz}$.

Célérité.

$$\begin{aligned} v &= \lambda\, N \\ v &= 7{,}58 \times 10^{-3}\,\mathrm{m} \\ &\quad \times 4{,}50 \times 10^{4}\,\mathrm{Hz} \\ v &\approx 341\,\mathrm{m\cdot s^{-1}} \end{aligned}$$

Conclusion. Les ultrasons se propagent dans l'air du laboratoire à environ $341\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

A.4. 0,25 pts

La distance d_5 est connue à $0{,}05\,\mathrm{cm}$ près. Estimer l'incertitude relative sur λ.

INDICE

Outil : $\lambda = \dfrac{d_5}{5}$: l'incertitude relative sur λ est celle sur d_5.

CORRIGÉ

Incertitude relative. $\dfrac{0{,}05\,\mathrm{cm}}{3{,}79\,\mathrm{cm}} \approx 1{,}3 \times 10^{-2}$.

Conclusion. La longueur d'onde est connue à environ $1{,}3\,\%$ près ; mesurer sur une seule coïncidence donnerait une incertitude relative cinq fois plus grande.

B.1. 1 pts

Partie B : diffraction et chasse. On admet que, dans l'air, ces ultrasons ont une longueur d'onde $\lambda = 7{,}6\,\text{mm}$ et une célérité $v = 340\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Faire le schéma annoté d'un montage qui met en évidence la diffraction de ces ultrasons par une fente, et indiquer le rôle de chaque élément. Préciser l'ordre de grandeur de la largeur de fente à choisir.

INDICE

Outil : il faut produire les ultrasons, les faire passer par une fente, puis chercher le signal reçu dans plusieurs directions.

CORRIGÉ

Schéma, vu de dessus. Un générateur de signaux, réglé à $45{,}0\,\text{kHz}$, alimente l'émetteur. Devant lui, sur son axe, une plaque est percée d'une fente. Derrière la plaque, un récepteur relié à un oscilloscope se déplace sur un arc de cercle centré sur la fente ; l'angle avec l'axe repère sa direction.

Mesure. Pour chaque direction, à distance fixe de la fente, on relève l'amplitude du signal reçu.

Largeur de fente. Pour une diffraction nette, la largeur doit être inférieure ou de l'ordre de λ : quelques millimètres à un centimètre environ.

Conclusion. Le montage générateur, émetteur, fente de largeur voisine de $7{,}6\,\text{mm}$, récepteur mobile et oscilloscope montre un signal notable hors de l'axe de l'émetteur.

B.2. 0,75 pts

Un moustique mesure environ $3\,\text{mm}$; un papillon de nuit, environ $3\,\text{cm}$. Lequel renvoie un écho net vers la chauve-souris ? Justifier à l'aide de la diffraction.

INDICE

Outil : compare chaque taille à λ, puis relis la présentation de la chasse.

CORRIGÉ

Moustique. Sa taille, $3\,\text{mm}$, est inférieure à $\lambda = 7{,}6\,\text{mm}$: l'onde le contourne en se diffractant, et l'écho renvoyé est faible.

Papillon. Sa taille, $3\,\text{cm}$, vaut environ quatre fois λ : l'onde est peu diffractée et l'insecte la renvoie nettement.

Conclusion. Avec ce cri, le papillon de nuit renvoie un écho net ; le moustique est mal repéré.

B.3. 0,75 pts

Calculer la fréquence minimale d'un cri qui permettrait à la chauve-souris de repérer nettement un moustique de $3{,}0\,\mathrm{mm}$.

INDICE

Début : traduis la condition d'écho net en une condition sur λ. **Ensuite :** relie λ à N dans l'air.

CORRIGÉ

Condition. Pour un écho net, le moustique ne doit pas être plus petit que λ : $\lambda \leq 3{,}0 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}$.

Fréquence. $\lambda = \dfrac{v}{N}$, donc $N \geq \dfrac{v}{3{,}0 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}}$:

$$N_{\min} = \frac{340\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}}{3{,}0 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}}$$
$$N_{\min} \approx 1{,}1 \times 10^{5}\,\mathrm{Hz}$$

Conclusion. Le cri doit avoir une fréquence d'au moins $1{,}1 \times 10^{2}\,\mathrm{kHz}$ environ.

B.4. 1,25 pts

Synthèse. En quelques lignes, expliquer pourquoi une chauve-souris qui chasse de très petits insectes a intérêt à émettre des ultrasons de fréquence élevée. Mobiliser la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence, et la condition de diffraction.

INDICE

Début : pars de la taille de la proie et compare-la à λ. **Ensuite :** relie λ à N dans l'air.

CORRIGÉ

Proie et longueur d'onde. Un insecte petit devant λ diffracte l'onde, qui le contourne : il renvoie peu d'écho. Pour être repéré, il doit être plus grand que λ, ou du même ordre.

Rôle de la fréquence. Dans l'air, la célérité est fixée, environ $340\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$. Comme $\lambda = \dfrac{v}{N}$, augmenter la fréquence diminue la longueur d'onde.

Conclusion. Pour repérer des insectes de quelques millimètres, la chauve-souris doit émettre des ultrasons de longueur d'onde millimétrique, donc de fréquence élevée, de l'ordre de $100\,\mathrm{kHz}$.