

Propagation d'un signal

Travaux Dirigés

Questions de cours

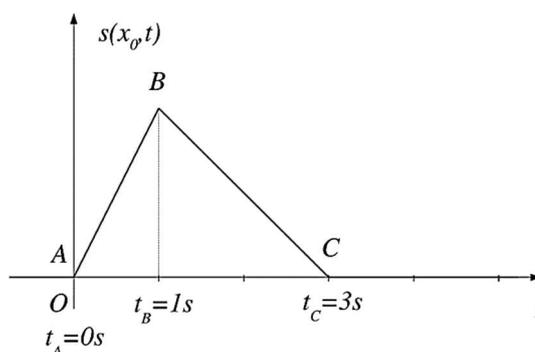
En vérifiant que vous savez répondre à ces questions, vous contrôlez votre apprentissage du cours.

- 📖 Rappeler les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques et électromagnétiques.
- 📖 Citer quelques ordres de grandeur de fréquence dans les domaines acoustiques et électromagnétiques
- 📖 Définir une onde progressive, sa célérité et établir son expression mathématique en fonction de son sens de propagation.
- 📖 Définir une onde progressive harmonique, la représenter en indiquant ses différentes caractéristiques et relier les grandeurs spatiales et temporelles.
- 📖 **Établir** la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de phase.
- 📖 Définir un milieu dispersif. En déduire une conséquence sur la présence des ondes progressives dans un milieu dispersif.

Exercice 1. Propagation d'une onde

On enregistre le signal en $x_0 = -1$ m : $s(x_0, t)$. On note $v_{\text{onde}} = 2$ m.s⁻¹ la vitesse de propagation de l'onde dans le sens des x croissants.

- Q1.** Tracer $s(x_1, t)$ pour $x_1 = 1$ m.
Q2. Tracer $s(x, t_0)$ pour $t_0 = 5$ s.



Exercice 2. Onde le long d'une corde

Un vibreur provoque des ondes sinusoïdales de fréquence $f = 50$ Hz à l'extrémité d'une corde. Un point M situé à la distance $d = 18$ cm de l'extrémité commence à vibrer à l'instant $t = 0,060$ s après la mise en fonction du vibreur.

- Q1.** Déterminer la célérité des ondes le long de cette corde.
Q2. Représenter sur deux graphes différents l'évolution de la hauteur $y(t)$ du point M et celle de la source S pour t variant de 0 à 0,080 s.
Q3. Comparer l'état vibratoire du point M et du point S . Que peut-on dire de la distance les séparant ?
Q4. Quelle est la plus petite distance séparant deux points vibrant en phase ?
Q5. Pour quelle fréquence la distance précédente vaut-elle 5 cm ?

Exercice 3. Savoir décoder l'expression mathématique

On considère une onde unidimensionnelle se propageant sur l'axe $x'Ox$, modélisée par la fonction : $s(t) = 5 \cdot \sin(2,4 \times 10^3 \cdot \pi \cdot t - 7 \cdot \pi \cdot x + 0,7 \cdot \pi)$ avec x en m et t en s.

- Q1.** Calculer la période, la fréquence, la pulsation de ce signal.
Q2. Calculer la longueur d'onde, le nombre d'onde et le vecteur d'onde.
Q3. Quelle est sa vitesse de propagation ?

Exercice 4. Savoir obtenir l'expression mathématique

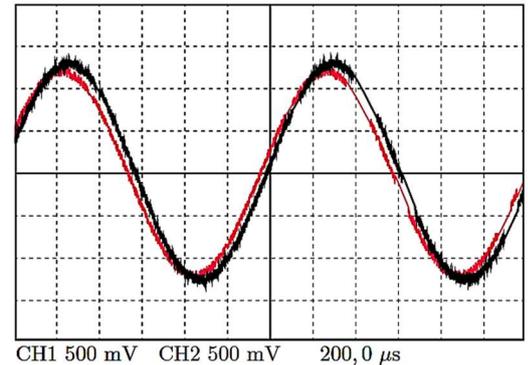
Une onde progressive sinusoïdale d'amplitude $A=1,0$ mm se propage sur une corde $x'Ox$ dans le sens des x positifs. Sa fréquence est $f = 100$ Hz et sa célérité $v = 25$ m.s⁻¹. En O et à la date $t = 0$, la perturbation $s(x, t)$ modélisant l'onde est au minimum.

Q1. Calculer sa longueur d'onde.

Q2. Exprimer $s(x, t)$.

Exercice 5. Déphasage et mesure de la célérité

On considère les tensions délivrées par deux microphones : un fixe en O et l'autre mobile en M , captant une onde progressive sinusoïdale émise par un haut-parleur. Lorsque les deux microphones sont placés en O , on observe sur un oscilloscope les signaux de la figure *a*.

Figure *a*

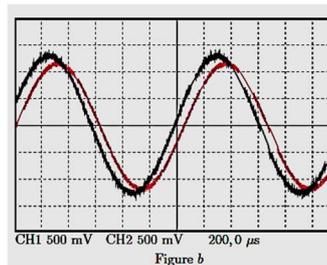
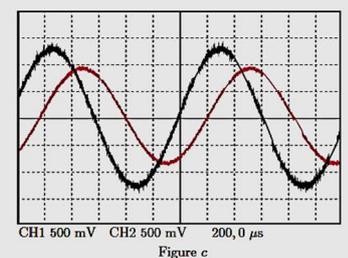
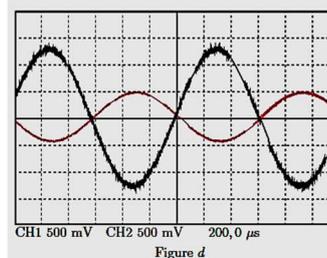
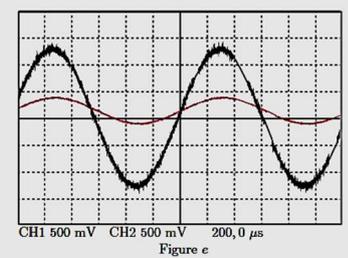
Q1. Quelle est la fréquence f de l'onde ?

Les figures *b*, *c*, *d* et *e* correspondent aux positions du point M d'abscisses $x_1, x_2, x_3 = 21$ cm et x_4 .

Q2. Quelle est la longueur d'onde de l'onde sonore ?

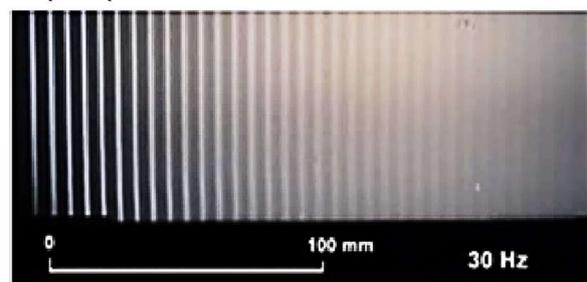
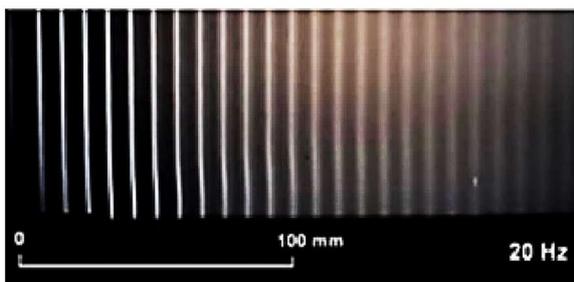
Q3. Que vaut la vitesse de propagation v de l'onde sonore ?

Q4. Déterminer les abscisses x_2 et x_4 .

Figure *b*Figure *c*Figure *d*Figure *e*

Exercice 6. Caractère dispersif de la cuve à ondes

À l'aide d'une baguette accrochée à un pot vibrant, on réalise des ondes unidimensionnelles dans une cuve à onde remplie par 5 cm d'eau.



Q1. À l'aide des deux photographies, montrer que la cuve est un milieu dispersif.

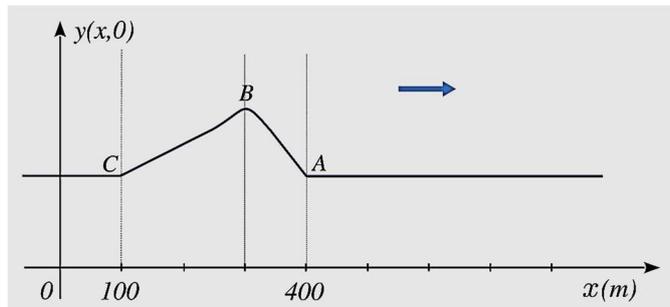
Exercice 7. Mascaret

Le mascaret est une vague solitaire remontant un fleuve au voisinage de son estuaire, et provoquée par l'interaction entre son écoulement et la marée montante.

On considère ici un mascaret se déplaçant à la vitesse $v_{\text{onde}} = 20 \text{ km.h}^{-1}$ le long d'un fleuve rectiligne et on définit un axe (Ox) dans la direction et le sens de sa propagation.



À un instant $t_0 = 0$, le profil du niveau de l'eau du fleuve a l'allure suivante :



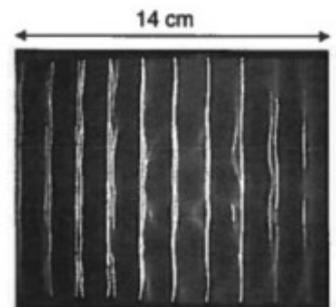
Faire un schéma du profil du niveau du fleuve à $t_1 = 1,5 \text{ min}$ (1 min 30 s), en supposant que l'onde se propage sans déformation.

- Q1.** Un surfeur attend sur sa planche au niveau de l'abscisse $x_s = 2,0 \text{ km}$. À quel instant va-t-il être atteint par la vague ?
- Q2.** Un détecteur fixe, enregistrant la hauteur du fleuve en fonction du temps, est placé à l'abscisse $x_d = 1,4 \text{ km}$. Dessiner l'allure du signal enregistré $y(x_d, t)$ en fonction de t (on choisira une échelle où t est en minutes). On justifiera son tracé.

Exercice 8. Onde de houle

On simule la houle au laboratoire avec une cuve à ondes en utilisant une lame vibrante qui crée à la surface de l'eau une onde sinusoïdale de fréquence $f = 7,9 \text{ Hz}$. La flaque d'eau contenue dans la cuve possède une épaisseur $e = 2 \text{ mm}$. Une photo par stroboscopie est donnée ci-contre.

La vitesse de propagation des ondes à la surface de l'eau dépend du rapport entre la profondeur de l'eau et la longueur d'onde de la houle :



- Cas des ondes dites « courtes » si la longueur d'onde λ est faible devant la profondeur h d'eau ($\lambda < \frac{h}{2}$) :

$$v_{\text{onde}} = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}} \quad (\text{où } g = 9,81 \text{ m.s}^{-2} \text{ est l'intensité de la pesanteur}) ;$$

- Cas des ondes dites « longues » si $\lambda > 5 \cdot h$:

$$v_{\text{onde}} = \sqrt{gh}$$

- Q1.** La houle est-elle une onde transversale ou longitudinale ?
- Q2.** À quel type d'onde la houle présente dans la cuve correspond-elle ?
- Q3.** Combien de temps met l'onde pour traverser une cuve de longueur $D = 30 \text{ cm}$.
- Q4.** Combien de temps mettrait une onde de longueur d'onde $\lambda' = 0,9 \text{ mm}$? Comment peut-on qualifier ce milieu de propagation ?
- Q5.** Calculer la période d'une houle maritime ayant une longueur d'onde de 60 m au niveau d'une fosse océanique de 3000 m.

Exercice 9. Retrouver une formule à partir des unités

La célérité v des ondes transversales le long d'une corde sans raideur est déterminée par les paramètres physiques suivants : la masse volumique ρ du matériau de la corde, le diamètre d de la corde et la tension T à laquelle elle est soumise. On fait l'hypothèse d'une formule du type

$$v = K \cdot \rho^\alpha \cdot d^\beta \cdot T^\gamma$$

où K , α , β et γ sont des constantes sans unité.

Q1. Déterminer α , β et γ .

Au programme

Notions et contenus	Capacités exigibles	Dans le cours/les exercices
Exemples de signaux. Signal sinusoïdal.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.	Section 1.
Propagation d'un signal dans un milieu illimité, non dispersif et transparent Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle non dispersive. Célérité, retard temporel.	Écrire les signaux sous la forme $f(x-ct)$ ou $g(x+ct)$. Écrire les signaux sous la forme $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$. Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée et l'évolution spatiale à différents instants.	Section 2.3. Application 2, Exercices 1 et 7
Modèle de l'onde progressive sinusoïdale unidimensionnelle. Vitesse de phase, déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustique, mécanique et électromagnétique. Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de phase. Relier le déphasage entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation. Mesurer la vitesse de phase, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.	Section 2.5. Section 2.4., Application 3, Exercice 3 Application 5 Applications 1 et Exercices 2,5 et 8 TP 2 Célérité des ultrasons
Milieux dispersifs ou non dispersifs.	Définir un milieu dispersif. Citer des exemples de situations de propagation dispersive et non dispersive.	Section 4, Exercice 6 et 8

Propagation d'un signal

Devoir Maison : Le principe du sonar

Un sonar (« *SOund NAVigation and Ranging* ») est un dispositif de détection utilisant les ondes acoustiques comme signal détectant. Il permet aux marins de naviguer correctement (mesure de la profondeur) ou aux sous-marins de repérer les obstacles et les autres navires. Certains animaux (chauve-souris, dauphins...) utilisent des systèmes similaires au sonar pour repérer leurs proies ou des obstacles.

On suppose dans cette section que la mer est un milieu homogène dans lequel le son se propage rectilignement. À 20°C, la vitesse du son dans l'eau de mer est $c_{\text{mer}} = 1,50 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

L'avant d'un sous-marin est équipé d'un sonar lui permettant d'éviter d'entrer en collision avec un autre sous-marin. Le sonar est constitué d'un émetteur d'ondes sonores et d'un récepteur capable d'identifier l'écho de l'onde précédemment émise.

On note O l'avant du sous-marin équipé du sonar et (Ox) l'axe du sous-marin, correspondant à l'axe de propagation de l'onde sonore. Un second sous-marin est à la distance L du premier, dans la configuration représentée sur la figure ci-dessous.

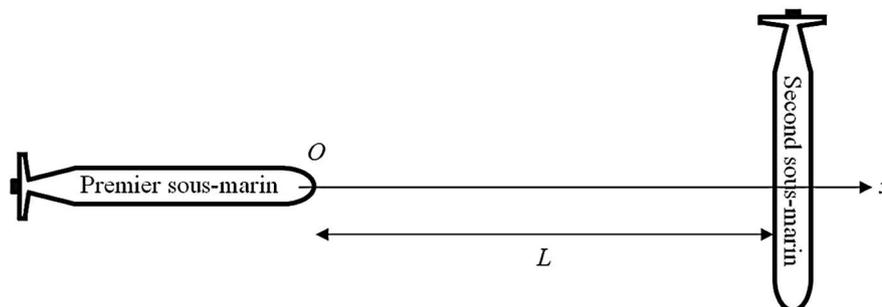


FIGURE 1 – Les sous-marins, vus du dessus

- Q1.** Expliquer le principe de fonctionnement d'un sonar.
- Q2.** L'émetteur produit une très brève impulsion sonore. Le récepteur en reçoit l'écho au bout d'une durée $\Delta t_e = 38,8 \text{ ms}$. En déduire la distance L à laquelle se situe le second sous-marin ; faire l'application numérique.

À partir de l'instant $t = 0$, le sonar émet l'impulsion sonore sinusoïdale de la figure 2, pendant une durée $\Delta t_i = 800 \mu\text{s}$.

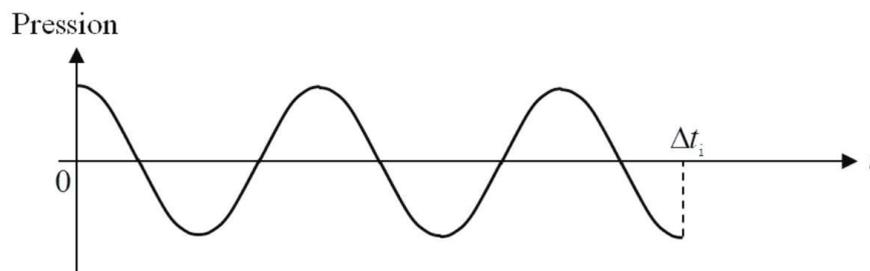


FIGURE 2 – Impulsion sinusoïdale correspondant au signal envoyé par le sonar

Q3. Déterminer, en justifiant, la valeur numérique de la fréquence f de l'onde émise par le sonar.

On s'intéresse à la propagation spatiale de l'impulsion sonore : on la représente alors dans le système d'axes de la figure 3.



FIGURE 3 – Propagation spatiale

Q4. Exprimer et calculer numériquement la longueur spatiale Δx de l'impulsion.

Q5. Reproduire sur la copie le système d'axes de la figure 3 et y représenter l'impulsion sonore à l'instant $t = 12,0 \text{ ms}$; calculer numériquement, en justifiant précisément, les positions du début (ou front) de l'impulsion et de sa fin.

Un détecteur d'ondes sonores est placé sur le second sous-marin, sur l'axe (Ox) .

Q6. Représenter sur la copie l'évolution de l'amplitude enregistrée par ce détecteur au cours du temps. Calculer numériquement, en justifiant précisément, les instants auxquels le détecteur reçoit le début et la fin de l'impulsion et on repérera ces instants sur l'axe horizontal qu'on graduera.