

TD11 – Propagation d'ondes

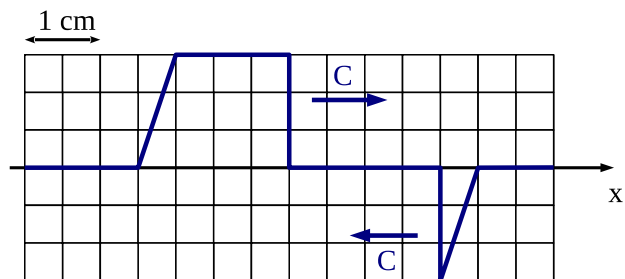
EXERCICE 1 : Fréquence et longueur d'onde (★)

1. Calculer la longueur d'onde de l'onde électromagnétique qui existe dans un four à micro-onde sachant que sa fréquence est $f = 2,45 \text{ GHz}$ et commenter.
2. La vitesse du son dans l'air à la température T s'écrit $c = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$ où $\gamma = 1,4$; $R = 8,314 \text{ J.K.mol}^{-1}$ et $M = 29 \text{ g.mol}^{-1}$. Un diapason émet un La_4 de fréquence $f = 440 \text{ Hz}$ à l'extrémité d'une salle où la température est de $T_1 = 290 \text{ K}$. Calculer la longueur d'onde de l'onde associée.
3. L'onde arrive à l'autre extrémité de la salle où la température est de $T_2 = 300 \text{ K}$. Quelle est la longueur d'onde et la fréquence de l'onde à cet endroit?

EXERCICE 2 : Superposition (★)

La figure ci-contre représente une corde à un instant pris comme origine des temps. Les deux déformations se propagent dans des sens opposés à une vitesse $c = 0,5 \text{ cm/s}$.

Représenter la corde aux instants $t = 2 \text{ s}$, $t = 3 \text{ s}$, $t = 4 \text{ s}$, et $t = 6 \text{ s}$.



EXERCICE 3 : Milieu dispersif (★)

Pour les ondes progressives sinusoïdales se propageant à la surface de l'eau, la relation de dispersion s'écrit

$$\omega^2 = gk$$

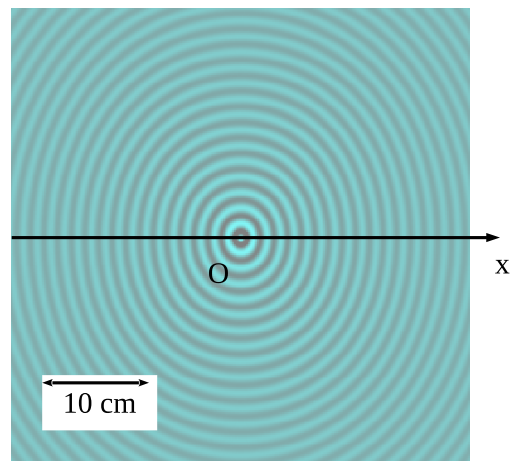
où g est l'accélération de pesanteur constante.

Le milieu est-il dispersif? Exprimer la vitesse de phase $v_\varphi(\omega)$.

EXERCICE 4 : Cuve à ondes (★★)

La figure ci-contre représente la surface d'une cuve à ondes éclairée en éclairage stroboscopique. L'onde est engendrée par un vibreur de fréquence $f = 18 \text{ Hz}$. L'image est claire là où la surface de l'eau est convexe, foncée là où elle est concave.

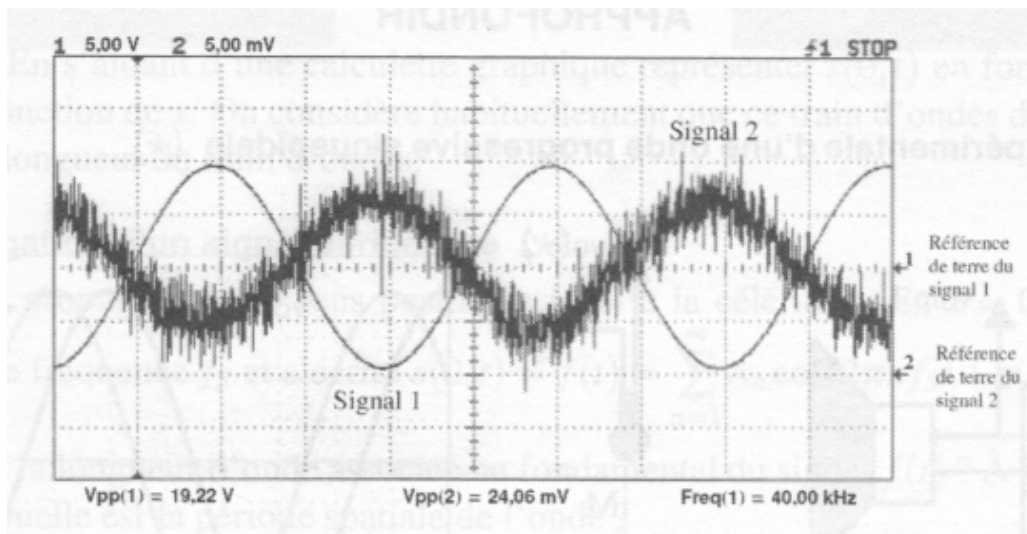
1. En mesure sur la figure, déterminer la longueur d'onde.
2. En déduire la célérité de l'onde.
3. On suppose l'onde sinusoïdale, d'amplitude A constante et de phase initiale nulle en O. Écrire le signal $s(x, t)$ pour $x > 0$ et pour $x < 0$.
4. Expliquer pourquoi A n'est en fait pas constante.



EXERCICE 5 : Principe de la télémétrie (★★)

On place un émetteur et un récepteur côte à côte. Ce bloc est appelé le télémètre. À la distance D on place un obstacle réfléchissant les ondes sonores, que nous appellerons cible. Une onde sinusoïdale de période T est émise par l'émetteur du télémètre, elle se réfléchit sur la cible et est détectée par le récepteur du télémètre. Sur l'écran d'un oscilloscope, on visualise simultanément deux signaux : celui capté (par un dispositif non décrit) en sortie de l'émetteur et celui du récepteur.

1. On appelle temps de vol, noté t_v , la durée aller-retour de l'onde entre le télémètre et la cible. Exprimer t_v en fonction de la distance D séparant le télémètre de la cible et de la célérité c de l'onde.
2. Pour illustrer le principe de la mesure, on colle la cible au télémètre, puis on l'éloigne lentement en comptant le nombre de coïncidences, c'est-à-dire le nombre de fois où les signaux sont en phase. Pour simplifier, on suppose que lorsque $D = 0$, les signaux sont en phase. On se place dans le cas où l'on a compté n coïncidences. Exprimer D en fonction de n et de la longueur d'onde des ondes ultrasonores.
3. Lors du recul de la cible, 50 coïncidences ont été comptées avant d'observer les signaux de la figure ci-dessous sur l'écran de l'oscilloscope. Dans les conditions de l'expérience, la longueur d'onde des ondes sonores valait 8,5 mm. En exploitant les données de l'enregistrement, calculer la distance séparant le télémètre de la cible.



4. Pourquoi les deux signaux de la figure sont-ils si différents? Identifier quel est, selon toute vraisemblance, le signal capté en sortie de l'émetteur et celui reçu par le récepteur.

EXERCICE 6 : Mesure d'un signal sonore sur un oscilloscope (★★)

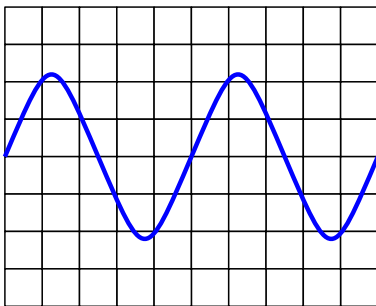
On considère le montage expérimental de la figure ci-contre permettant d'étudier un signal sonore sur un oscilloscope. Un haut-parleur sur lequel un GBF envoie un signal sinusoïdal de fréquence f , crée une onde sonore $a_i(x, t)$ sinusoïdale de même fréquence f . On visualise le signal du GBF sur la voie 1 d'un oscilloscope, synchronisé sur cette voie 1. On prend comme origine O d'un axe (Ox) la position du haut-parleur.



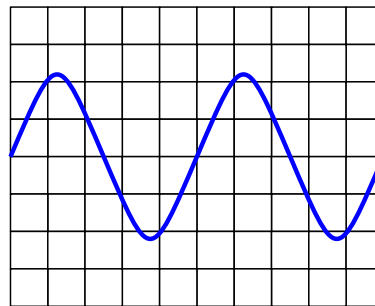
Un microphone, situé à l'abscisse x , est relié à la voie 2 du même oscilloscope, ce qui permet de visualiser une tension directement proportionnelle à la surpression sonore (ou signal sonore associé à l'onde en x).

On prend comme origine des phases celle de l'onde émise par le haut-parleur en O, de sorte que l'on puisse écrire $a_i(0, t) = A_0 \cos(\omega t)$.

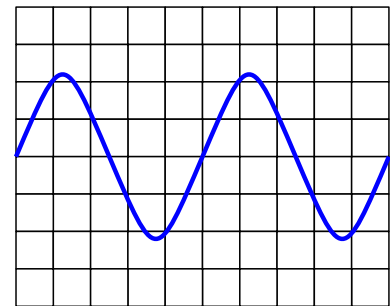
1. Donner l'expression de l'onde sonore $a_i(x, t)$.
2. Lorsque le micro est à une abscisse x_0 quelconque, les oscilloscopes 1, 2 et 3 présentent ce que l'on observe lorsque seule la voie 2 est affichée. Représenter sur l'oscilloscope 1 la nouvelle courbe observée si on déplace le micro d'un quart de longueur d'onde dans le sens des x croissants. Que peut-on dire des signaux $a_i(x_0, t)$ et $a_i(x_0 + \lambda/4, t)$?
3. Représenter sur l'oscilloscope 1 la nouvelle courbe observée si on déplace le micro d'un quart de longueur d'onde dans le sens des x décroissants. Que peut-on dire des signaux $a_i(x_0, t)$ et $a_i(x_0 - \lambda/4, t)$?
4. Représenter sur l'oscilloscope 1 la nouvelle courbe observée si on déplace le micro d'une demi longueur d'onde dans le sens des x croissants. Qu'observerait-on si on avait déplacé le micro dans le sens des x décroissants?



Oscilloscope 1



Oscilloscope 2



Oscilloscope 3

EXERCICE 7 : Vers l'analyse spectrale (★)

1. Quelle est la valeur moyenne du signal : $s(t) = 3 \sin(40\pi t + 0,3\pi)$, où le temps est exprimé en secondes? Quelle est la fréquence du signal?
2. Mêmes questions pour le signal $s(t) = 2 + 3 \sin(40\pi t + 0,8\pi) + 3 \sin(20\pi t - 0,8\pi)$.
3. Quelle est la fréquence du signal $s(t) = 10 \sin(80\pi t) + 5 \sin(120\pi t + 0,6\pi)$, où le temps est exprimé en secondes? On dit que $s(t)$ est un signal sans fondamental.
4. On considère le signal $s(t) = A \sin(2\pi f_1 t) \cos(2\pi f_2 t + \varphi)$, où A et φ des constantes réelles. Montrer que ce signal peut s'écrire comme la somme de deux fonctions sinusoïdales dont on déterminera les fréquences. Représenter l'allure de $s(t)$.

EXERCICE 8 : Effet Doppler (★★)

Une onde sinusoïdale de fréquence f se propage dans la direction de (Ox) dans le sens des x croissants avec la célérité c . Un observateur se déplace avec une vitesse $\vec{v} = v\vec{e}_x$ parallèle à (Ox) .

1. Écrire le signal $s(x, t)$ de l'onde en définissant les notations nécessaires.
2. Exprimer le signal $s(\text{Obs}, t)$ perçu par l'observateur.
3. En déduire l'expression de la fréquence f' pour l'observateur en mouvement. Comparer f' et f suivant le signe de $\vec{v}$.

4. Vous marchez dans la rue et un camion de pompier, sirène en marche, arrive de derrière et vous dépasse. Qu'entendez-vous?