

TP1 : Célérité des ultrasons

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES TRAVAILLÉES :

- ▷ Mettre en oeuvre une méthode de mesure de fréquence ou de période.
- ▷ Mesurer une longueur d'onde acoustique à l'aide d'un support gradué et d'un oscilloscope bicourbe.
- ▷ Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou π en mode XY.
- ▷ Mesurer la célérité d'une onde progressive sinusoïdale.

MATÉRIEL :

Paillasse des étudiants : oscilloscope numérique, générateur de signaux basse fréquence (GBF), émetteur et récepteur acoustiques (domaine ultrasonore) avec une plaquette support pour chacun, réglet gradué, 3 fils BNC-banane.

Bureau de l'enseignant : thermomètre.

Les **ultrasons** sont des **ondes mécaniques** de même nature que les sons, mais dont la **fréquence** est supérieure à 20 000 Hz, donc trop élevée pour qu'ils puissent être perçus par l'oreille humaine.

Leurs domaines d'application sont nombreux : détection d'obstacles (sonar, télémètre), imagerie médicale (échographie), nettoyage fin de matériaux, etc.

PROBLÉMATIQUE :

Comment mesurer la période, la longueur d'onde et la célérité d'une onde ultrasonore progressive sinusoïdale ?

1 Émission et réception d'une onde acoustique

1.1 Protocole 1 - Branchements et réglages

- Brancher la sortie 50 Ω du générateur basses fréquences (GBF) sur l'émetteur à ultrasons E posé sur une plaquette, et faire le branchement nécessaire pour envoyer ce signal sur la voie 1 de l'oscilloscope.
- Régler le GBF pour qu'il délivre un signal sinusoïdal de fréquence $f_E = 40$ kHz. Pour ce faire, il faut régler la gamme sur 100k puis tourner la/les molette(s) de réglage de fréquence.
- Si besoin, régler le déclenchement de l'oscilloscope sur la voie 1 grâce au réglage suivant : Trigger $\rightarrow$ Type de déclenchement $\rightarrow$ Front $\rightarrow$ source 1.
- Ajuster les échelles horizontale et verticale de l'oscilloscope pour optimiser l'affichage du signal sur l'écran. Pour ce faire, on utilise les grosses molettes : une par type de réglage.
- Brancher le récepteur à ultrasons R sur la voie 2 de l'oscilloscope, puis placer E et R face à face, chacun sur une plaquette différente, de sorte que R puisse capter le signal émis par E. Ajuster les échelles horizontale et verticale de la voie 2 afin d'optimiser l'affichage du signal reçu.
- Ajuster alors finement la fréquence f_E sur le GBF pour maximiser l'amplitude du signal reçu par R.

Q1. Faire un schéma annoté du montage.

Q2. Indiquer la valeur de f_E affichée sur le générateur de signaux basse fréquence lors du réglage final.

1.2 Fréquence du signal reçu

1.2.1 Rappel de cours - période et fréquence d'un signal périodique

Un signal est une grandeur physique dont on étudie l'évolution temporelle. Si un **signal** $s(t)$ est une fonction périodique de la variable temps (autrement dit, s'il se répète à l'identique à intervalles de temps réguliers), sa **période** T désigne la plus petite durée nécessaire pour qu'il se répète à l'identique. Un signal sinusoïdal est périodique.

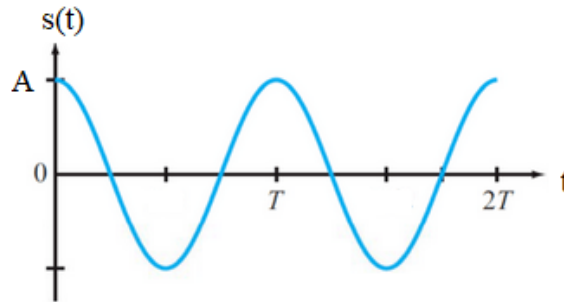


FIGURE 1 – Graphe d'un signal sinusoïdal d'amplitude A et de période T

La **fréquence** f d'un signal périodique désigne le nombre de fois qu'il se répète à l'identique par unité de temps. Si la période est exprimée en seconde, la fréquence s'exprime en hertz (de symbole Hz) et vaut :

$$f = \frac{1}{T}.$$

1.2.2 Protocole 2 - mesure de période et de fréquence

Le **signal sinusoïdal** généré par le GBF étant périodique, l'onde ultrasonore émise l'est également. L'objectif du protocole décrit ci-dessous est de vérifier que le signal reste périodique et que sa fréquence n'est pas modifiée au cours de sa propagation.

- Le signal est censé conserver son caractère sinusoïdal (donc périodique) et sa fréquence au cours de la propagation de l'émetteur E au récepteur R. Vérifier que c'est bien le cas aux incertitudes de mesure près.
- Mesurer la période T_R du signal reçu par le récepteur R en vous aidant du quadrillage de l'oscilloscope. La durée correspondant à une division (un carreau) est affichée sur un bord de l'écran.
- Reprendre la mesure en utilisant les curseurs de l'oscilloscope : Cursors → Mode Manuel → Source 1 ou 2, puis Curseurs → X1. Il faut placer un curseur vertical à l'endroit souhaité puis appuyer sur le bouton de l'oscilloscope pour déplacer le second curseur (X2). La valeur de la période s'affiche sur l'écran de l'oscilloscope une fois que les deux curseurs sont placés correctement.
- Reprendre la mesure en utilisant la fonction de mesure de période ou de fréquence de l'oscilloscope : Meas → Source 1 ou 2 → Type → Période ou Fréquence. La valeur s'affiche alors en bas de l'écran.

Q3. Pour chacune des méthodes décrites dans le protocole ci-dessus, noter la valeur de la période T_R et de la fréquence f_R correspondante. Expliquer à quoi peut être due une éventuelle variation de la valeur mesurée en fonction de la méthode employée.

2 Caractéristiques de l'onde ultrasonore

2.1 Longueur d'onde de l'onde ultrasonore

2.1.1 Rappel de cours - longueur d'onde d'une onde sinusoïdale

Une onde périodique, par exemple une onde sinusoïdale, est également caractérisée par sa **longueur d'onde** λ , qui est la distance séparant deux états vibratoires identiques successifs à un instant donné. C'est la plus petite distance au bout de laquelle le profil spatial de l'onde se répète identique à lui-même.

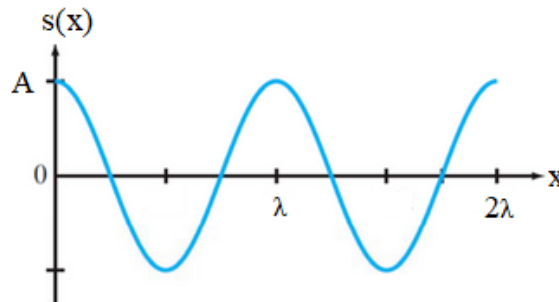


FIGURE 2 – Onde sinusoïdale de longueur d'onde λ observée à un instant donné et se propageant dans une direction (Ox)

L'onde ultrasonore n'est pas visualisable en tant que fonction de la position x car le son est invisible. Sa longueur d'onde doit donc être mesurée de façon indirecte.

On déplace le récepteur R par rapport à l'émetteur E jusqu'à observer des signaux émis et reçu **en phase** (autrement dit, sans décalage temporel) sur l'écran de l'oscilloscope, puis on déplace à nouveau le récepteur, ce qui décale temporellement les deux signaux du fait du retard lié à la propagation sur la distance ajoutée.

Lorsque les deux signaux sinusoïdaux sont à nouveau en phase (le **déphasage** entre le signal émis et le signal reçu est nul), le récepteur a été déplacé, par rapport à sa position initiale, d'une distance égale à la longueur d'onde de l'onde ultrasonore.

2.1.2 Protocole 3 - repérage d'un déphasage nul

- Placer E et R face à face. Fixer E et éloigner lentement R. Observer l'évolution du signal reçu.
- Replacer E et R face à face, assez proches l'un de l'autre, et de façon à ce que les signaux observés à l'oscilloscope soient en phase. Éloigner R de quelques centimètres le long d'un réglet gradué. À chaque fois que R s'éloigne de E d'une longueur d'onde λ , les signaux sont à nouveau en phase.
- Utiliser le mode XY de l'oscilloscope pour détecter un déphasage nul entre les deux signaux, comme expliqué en annexe.

Q4. Décrire comment est modifié le signal reçu par rapport au signal émis lorsque la distance entre E et R augmente. Expliquer qualitativement pourquoi.

Q5. Utiliser les observations du protocole 3 pour estimer la valeur de la longueur d'onde λ de l'onde ultrasonore aussi précisément que possible.

2.2 Célérité de l'onde ultrasonore

La **célérité** c de l'onde ultrasonore désigne sa vitesse de propagation. Sa valeur dépend uniquement de la nature et des propriétés du milieu de propagation.

Pour une onde progressive sinusoïdale, la célérité est liée à la longueur d'onde et à la période (ou la fréquence) par la relation

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f.$$

Q6. Utiliser les mesures précédentes pour estimer la valeur de la célérité c de l'onde ultrasonore. Comparer aux valeurs obtenues par d'autres groupes et expliquer à quoi est due la variabilité de cette mesure d'un groupe à l'autre. Proposer une opération mathématique permettant d'obtenir une valeur unique à partir de toutes les mesures effectuées. Faire le calcul.

D'après un modèle théorique,

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}},$$

avec $\gamma = 7/5$, $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ la constante des gaz parfaits, T la température absolue de l'air exprimée en kelvin (K) et $M = 29 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ sa masse molaire.

Q7. Déterminer si cette modélisation est compatible avec la valeur de la célérité des ultrasons estimée expérimentalement.

3 Annexe - repérer un déphasage nul en mode XY

Lorsque l'oscilloscope est réglé en **mode temporel**, on peut observer deux signaux $s_1(t)$ et $s_2(t)$ simultanément. En **mode XY**, on observe le second signal en fonction du premier : $s_2(s_1)$. Pour des signaux sinusoïdaux, l'allure du graphe dépend uniquement du déphasage (ou du décalage temporel) entre les deux signaux : s'ils sont en phase, on observe un segment de droite de pente positive.

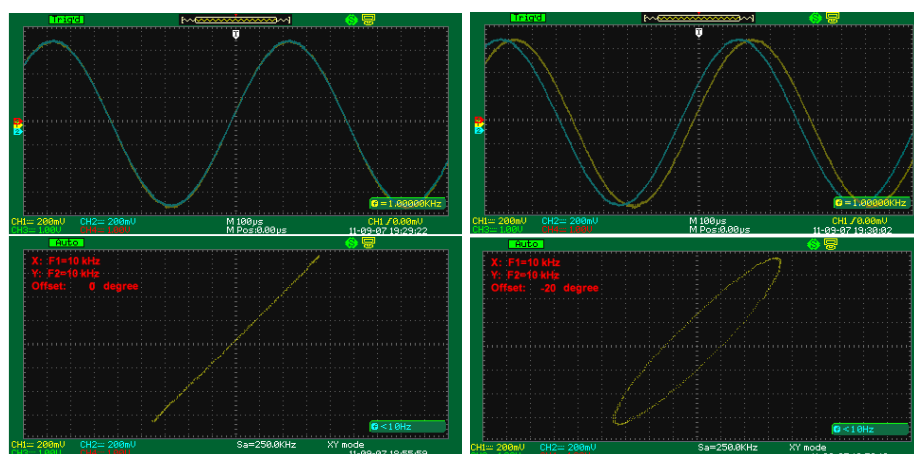


FIGURE 3 – Observation en mode temporel (haut) et en mode XY (bas) pour deux signaux en phase (gauche) et deux signaux légèrement déphasés (droite)

Pour utiliser le mode XY, cliquer sur acquire → Mode temps (sur l'écran) → XY (sélectionner avec la molette entry).