

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), réglet gradué, fils, adaptateurs BNC-banane, adaptateur en forme de T (en sortie du GBF).

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 50Ω du générateur basses fréquences (GBF) sur l'émetteur à ultrasons E et sur la voie 1 de l'oscilloscope grâce à l'adaptateur en forme de T. Faire les réglages nécessaires pour que le signal fourni par le GBF s'affiche sur l'écran 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; le bouton en bas à gauche permet un réglage grossier, celui du haut un réglage fin.
- Régler le déclenchement de l'oscilloscope sur la voie 1 grâce au réglage suivant : Trigger → Type de déclenchement → Front → source 1.
- Ajuster les échelles horizontale et verticale de l'oscilloscope pour optimiser l'affichage du signal. 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, 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

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.

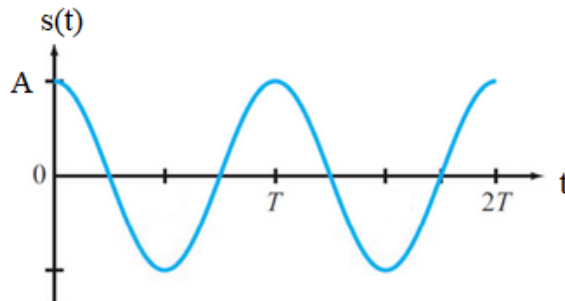


FIGURE 1 – Représentation graphique d'un signal sinusoïdal de période T

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 l'onde reste périodique au cours de sa propagation et que sa fréquence n'est pas modifiée.

- 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 l'écran de l'oscilloscope.
- 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. 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.

Q4. L'onde est censée 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.

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.

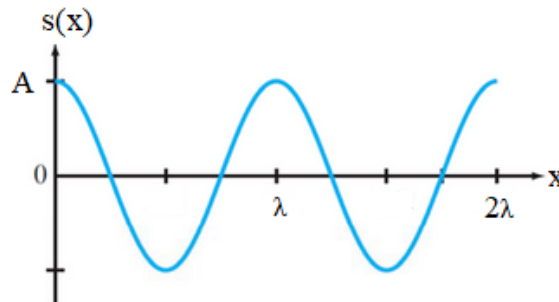


FIGURE 2 – Onde sinusoïdale de longueur d'onde λ observée à un instant donné

L'onde ultrasonore n'est pas visualisable en tant que fonction de x , sa longueur d'onde doit donc être mesurée de façon indirecte.

Pour ce faire, il suffit de déplacer 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 de déplacer le récepteur, ce qui décale les deux signaux du fait du retard lié à la propagation sur la distance ajoutée.

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

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, de façon à ce que les signaux observés à l'oscilloscope soient en phase (aucun décalage temporel visible). Éloigner R de quelques centimètres le long d'un réglet gradué. À chaque fois que celui-ci est éloigné 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.

Q5. Décrire comment est modifié le signal reçu par rapport au signal émis lorsque la distance entre E et R augmente.

Q6. Utiliser les observations du protocole 3 pour estimer la valeur de la longueur d'onde λ aussi précisément que possible.

2.2 Célérité de l'onde ultrasonore

La **célérité** c de l'onde ultrasonore désigne sa vitesse de propagation, autrement dit le quotient de la distance parcourue et du temps de propagation. Sa valeur dépend de la nature et des propriétés du milieu.

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

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

Q7. Utiliser les mesures expérimentales 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 la mesure. Proposer une méthode pour obtenir une valeur unique à partir de toutes les mesures effectuées, et la mettre en œuvre.

D'après un modèle théorique,

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

avec $\gamma = 1,4$, $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ 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.

Q8. Déterminer si cette modélisation est compatible avec la valeur de la célérité des ultrasons estimée précédemment.

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.

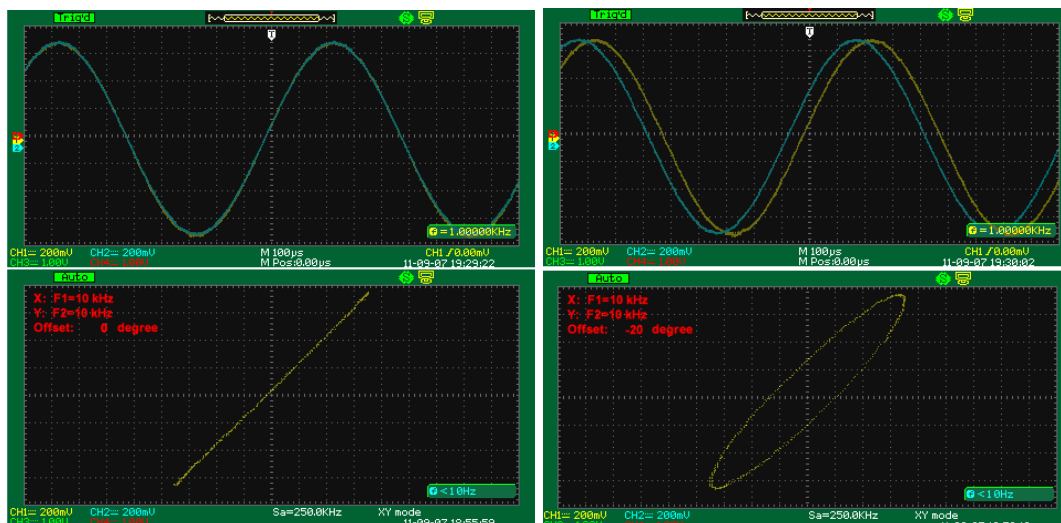


FIGURE 3 – Observation en mode temporel (haut) et en mode XY (bas) pour deux signaux en phase (gauche) et deux signaux légèrement déphasés (droite)