

TP 8 Propagation d'une onde acoustique

Matériel :

- ordinateur et connexion internet
- oscilloscope
- alimentation continue
- un émetteur à ultrasons
- deux récepteurs à ultrasons
- banc optique.

Au cours de cette séance de TP nous allons exploiter le phénomène de propagation d'une onde acoustique pour mesurer la célérité du son c .

Nous simulerons la propagation d'un signal à l'aide du langage de programmation Python.

1. Mesure de la célérité du son

Une onde ultrasonore de fréquence $f \approx 40$ kHz est émise par un émetteur : en provoquant une différence de tension sur un cristal de quartz on provoque sa mise en vibration, c'est l'effet piézoélectrique. Ces vibrations provoquent l'apparition d'une onde acoustique. Cette onde acoustique provoque la variation de pression alentours. Un autre cristal de quartz, présent dans un récepteur, subit alors la variation de pression et se déforme en fonction. Un effet piézoélectrique apparaît de nouveau, mais cette fois-ci ce sont les déformations du quartz du récepteur qui provoquent l'apparition d'une tension aux bornes du quartz, cette variation de tension peut être observée à l'oscilloscope. Le signal de tension obtenu est la transcription du signal acoustique émis.

Manipulations

- **Aligner** l'émetteur et les récepteur le long du banc optique afin qu'ils soient face à face. On considère que l'émetteur se trouve à l'origine d'un axe (Ox) et que les récepteur sont placés à la même position x_1 .
- **Mettre en marche** l'oscilloscope et **brancher** les deux récepteurs sur les voies 1 et 2.
- **Mettre sous tension** l'émetteur et **observer** au moins deux périodes des signaux de tension reçus par les récepteurs. Si nécessaire, **déplacer** légèrement un des deux récepteurs afin que les deux signaux de tension soient en phase.
- **Faire varier** la fréquence de l'émetteur afin de trouver la fréquence pour laquelle l'amplitude des signaux de tensions est maximale.
- **Mesurer** la fréquence f des signaux à l'oscilloscope.

Questions

1. On considère que l'onde acoustique ultrasonore produite par l'émetteur est monochromatique. **Donner** l'expression du signal de l'onde acoustique produite par l'émetteur en $x = 0$, notée $s(x = 0, t)$.
2. **Donner** l'expression du signal de l'onde acoustique produite par l'émetteur et reçue par les récepteurs à la position x_1 , $s(x_1, t)$.
3. **Exprimer** le déphasage $\Delta\varphi$ entre la phase du signal $s(x = 0, t)$ et $s(x_1, t)$, en fonction de f , x_1 et c la célérité de l'onde.

Manipulations

- Sur l'oscilloscope, **placer** un curseur temporel correspondant à une valeur particulier des signaux de tension. Ce curseur servira de repère.

- **Eloigner** un des deux récepteur et **observer** son signal se déphaser par rapport à celui de l'autre récepteur. Tout en continuant d'éloigner un des récepteurs, **compter** le nombre de fois N où les deux signaux sont de nouveaux en phases jusqu'à ce que la distance entre les deux soit proche de 50 cm.
- **Mesurer** la position x_2 où se trouve le récepteur que vous avez éloigné.

Questions

4. **Donner** l'expression du signal de l'onde acoustique produite par l'émetteur et reçue par le récepteur à la position x_2 , $s(x_2, t)$.
5. **Exprimer** le déphasage $\Delta\varphi$ entre les signaux $s(x_1, t)$ et $s(x_2, t)$, en fonction de f , x_1 , x_2 et c .
6. **Exprimer** le déphasage $\Delta\varphi$ entre les signaux $s(x_1, t)$ et $s(x_2, t)$ en fonction de N et 2π .
7. **En déduire** l'expression de la célérité de l'onde. **Calculer** cette valeur et son incertitude.
8. **Déterminer** si votre mesure est compatible avec la valeur théorique $c = 345 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

2. Simulation

Pour cette partie **ouvrir** avec Jupyter le fichier Notebook "Simulation de propagation d'une onde acoustique".

On simule la propagation d'une onde acoustique ultrasonore et sa mesure par deux récepteurs.

Le fichier permet de visualiser à la fois la variation spatiale d'un signal acoustique quelconque $s(x, t)$ sur une distance $L = 10\lambda$, avec λ la longueur d'onde de l'émetteur à ultrasons, mais également sa variation temporelle lorsqu'il est mesuré par deux capteurs situés à des positions différentes, illustrés en rouge et vert sur la figure produite par le programme.

Questions

9. **Calculer** la longueur d'onde λ puis la distance maximale L sur laquelle vous pourrez positionner les deux capteurs.

Manipulations

- **Modifier** la deuxième cellule du fichier afin de positionner les deux capteurs en deux positions différentes. **Vérifier** votre programme en cliquant sur "Kernel" puis "Restart & Run All".
- **Faire tourner** la figure afin d'observer uniquement les variations temporelles du signal mesuré par le capteur a et les variations du signal mesuré par le capteur b .
- **Mesurer** le retard τ entre les variations temporelles des deux signaux.
- **Déterminer** comment obtenir ce retard τ à partir de la célérité du son c et une autre grandeur utilisée précédemment.
- **Modifier** la troisième cellule du programme ci-dessous en commentant la ligne "À commenter" puis en écrivant l'expression d'un signal sinusoïdal. **Vérifier** votre programme en cliquant sur "Kernel" puis "Restart & Run All".
- **Comparer** votre simulation aux mesures des signaux réalisés par vos deux capteurs réels en les positionnant de la même manière que dans la simulation.
- **Modifier** les positions des capteurs dans la deuxième cellule afin de mettre les deux signaux en phase, puis en opposition de phase, puis en quadrature de phase.
- **Modifier** l'expression du signal sinusoïdal obtenu afin d'obtenir un signal sinusoïdale amorti avec un temps caractéristique de une période.