

# [TP Physique 20] Étude d'ondes ultrasonores

L'objectif est de mesurer la célérité des ondes ultrasonores dans différentes configurations expérimentales.

## Matériel à disposition

Émetteur de salves ultrasonores

Alimentation 15V

Émetteurs / Récepteurs simples d'ultrasons (3)

GBF

Oscilloscope

Règle graduée

Rapporteur

Nous disposons d'émetteurs d'ondes ultrasonores qui fonctionnent à une fréquence voisine de 40 kHz. Lorsqu'un émetteur est alimenté par une tension alternative réglée sur cette fréquence, une conversion électromécanique, grâce à un composant piézoélectrique, permet la génération d'ondes ultrasonores. Le fonctionnement est réversible : un émetteur est aussi récepteur d'ultrasons qui effectue la conversion inverse et donne une tension image d'un signal acoustique reçu.

## Partie A. Mesure de longueur d'onde

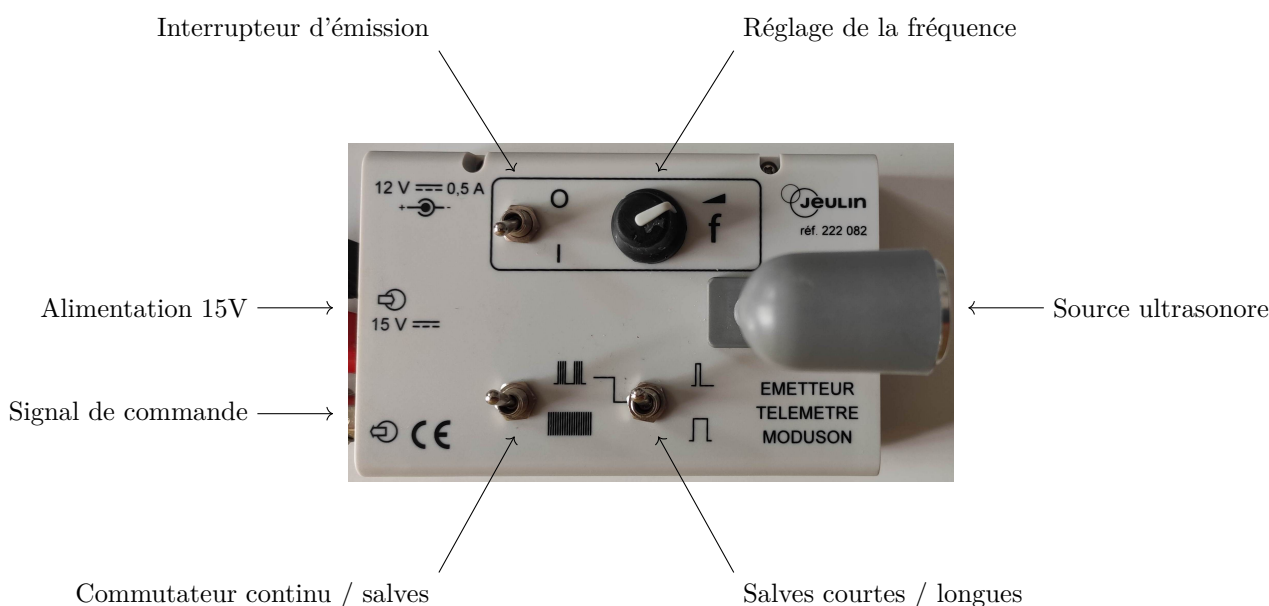
- ❑ Alimenter un émetteur d'ultrasons par un GBF délivrant un signal sinusoïdal de fréquence 40 kHz, et d'amplitude 3,0 V.
- ❑ Placer le récepteur face à l'émetteur. Observer à l'oscilloscope le signal émis et le signal reçu. Ajuster la fréquence du GBF pour obtenir une amplitude reçue maximale.
- ❑ Reculer lentement le récepteur dans l'axe de l'émetteur. Comment évolue le signal ? Comment nomme-t-on la distance parcourue entre deux positions successives où les signaux sont en phase ?
- ❑ Proposer un protocole permettant de mesurer la longueur d'onde suffisamment précisément.
- ❑ Réaliser la mesure et en déduire la célérité des ondes ultrasonores, avec son incertitude-type.

## Partie B. Mesure d'un retard

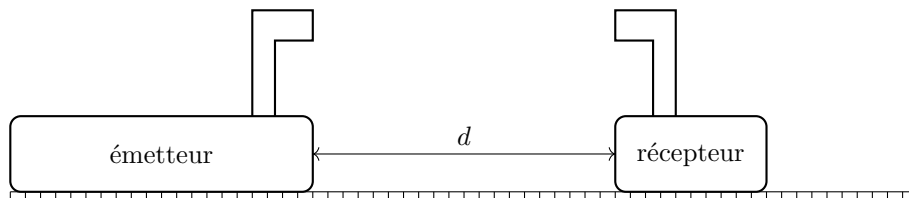
On utilise dans cette partie un module intégré (voir photo) permettant de produire des ultrasons :

- soit en continu ;
- soit sous forme de salves, c'est-à-dire de périodes d'émission séparées par des périodes « silencieuses ». On peut régler la durée des salves (courtes ou longues).

Ce module est alimenté par une tension de 15 V. On peut visualiser le signal électrique de commande de la source d'ultrasons par la sortie coaxiale nommée « signal de commande ».



- ❑ Alimenter le générateur de salves ultrasonores réglé en mode « salves courtes » et visualiser le signal de commande sur la première voie de l'oscilloscope.
- ❑ Régler la base de temps afin de visualiser environ 3 salves.



- ❑ Mettre l'interrupteur d'émission sur la position 1. Placer un récepteur d'ultrasons face à l'émetteur à une distance  $d$  de 10 cm et visualiser le signal reçu sur la deuxième voie de l'oscilloscope. Ajuster la fréquence de l'émetteur de sorte que le signal reçu ait l'amplitude maximale.  
*La forme de l'onde reçue diffère du signal de commande : cela vient de l'inertie du composant piézo-électrique qui met un certain temps à se mettre à osciller sous l'effet du signal de commande, et aussi à arrêter son oscillation.*
- ❑ Changer la base de temps pour avoir une seule salve émise puis reçue, avec des signaux alignés verticalement mais bien séparés sur l'axe temporel.
- ❑ Reproduire l'oscillogramme et y indiquer le retard de l'onde  $\tau$ .
- ❑ En utilisant les curseurs de l'oscilloscope, mesurer le retard  $\tau$ . Afin d'évaluer son incertitude, déplacer légèrement le curseur et identifier un intervalle dans lequel se trouve  $\tau$  de façon certaine. Noter la demi-étendue  $\delta_\tau$  de cet intervalle. Évaluer également la demi-étendue  $\delta_d$  pour la mesure de  $d$ .
- ❑ Recommencer la mesure pour des valeurs de la distance  $d$  prises tous les 5 cm entre 10 cm et 50 cm.
- ❑ Ouvrir sur <https://capytale2.ac-paris.fr> le notebook avec le code bf04-1746742. Entrer les valeurs de  $\tau$  avec leur demi-étendue.
- ❑ Exécuter le bloc d'instructions suivant : il trace le graphe de  $d$  en fonction de  $\tau$ .
- ❑ Le bloc suivant modélise le graphe obtenu par une fonction affine., grâce à la commande de régression linéaire `np.polyfit(x,y,1)`. interprète-t-on le coefficient directeur ? À votre avis, pourquoi l'ordonnée à l'origine n'est-elle pas nulle ?
- ❑ En déduire la célérité des ondes ultrasonores, à convertir en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Pour évaluer l'incertitude sur la mesure, on utilise une méthode par simulation Monte-Carlo : on crée un nombre  $N$  d'expériences virtuelles où les 9 mesures de  $d$  et  $\tau$  sont effectuées de façon aléatoire à l'intérieur des intervalles de demi-étendue  $\delta_d$  et  $\delta_\tau$ .

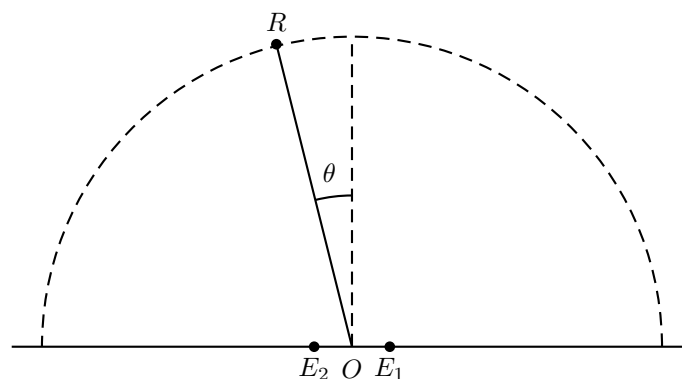
On utilisera pour ce faire la commande `rd.uniform(-1,1,n)` qui produit un tableau de  $n$  mesures aléatoires prises uniformément dans l'intervalle  $[-1, 1]$ .

Dans le notebook, on note  $N$  le nombre d'expériences virtuelles réalisées. `a_sim` et `b_sim` sont des tableaux des coefficients de régression linéaire que l'on remplit avec les valeurs obtenues dans chaque expérience virtuelle.

- ❑ Écrire les commandes qui permettent de générer les 9 mesures aléatoires pour  $d$  et  $\tau$ . On utilisera à profit le fait que numpy ajoute et multiplie les tableaux de même longueur membre à membre.
- ❑ Exécuter le bloc d'instructions. Il produit les distributions de valeurs de  $a$  et de  $b$  simulées.
- ❑ À l'aide de commandes statistiques, obtenir la valeur de la célérité avec son incertitude-type.

### Partie C. Mesure de différence de marche

Dans cette partie on exploite le phénomène d'interférence. On utilise deux émetteurs d'ultrasons identiques, disposés en  $E_1$  et  $E_2$  de part et d'autre du centre  $O$  d'un rapporteur gradué, et on observe la superposition des signaux émis en déplaçant le récepteur  $R$  sur le bord du rapporteur (le long d'un cercle centré sur  $O$ ).



- ❑ Placer les émetteurs en position sur l'axe du rapporteur. Mesurer la distance  $a$  entre les centres  $E_1$  et  $E_2$  des émetteurs.

## [TP Physique 20] Étude d'ondes ultrasonores

---

- ❑ Alimenter avec le GBF les deux émetteurs l'un en dérivation de l'autre. Les signaux émis sont ainsi identiques.
- ❑ Placer le récepteur face aux émetteurs (angle  $\theta = 0$ ) et afficher le signal reçu sur un oscilloscope. Ajuster légèrement l'orientation des émetteurs afin que l'amplitude reçue soit maximale. Que vaut alors le déphasage des ondes ?
- ❑ Déplacer le récepteur le long du rapporteur. Observer l'évolution de l'amplitude sur l'oscilloscope. Noter tous les angles pour lesquels l'amplitude passe localement par un maximum.
- ❑ Comment évolue le déphasage entre deux maxima successifs ? Associer à chaque maximum une valeur de déphasage  $\Delta\varphi$ .
- ❑ Le déphasage est dû à la différence entre les distances parcourues par les deux ondes à leur arrivée en  $R$ , nommée « différence de marche »  $\delta = E_1R - E_2R$ . Montrer que  $\Delta\varphi = 2\pi\delta/\lambda$  où  $\lambda$  est la longueur d'onde.
- ❑ Si le rayon du cercle est très supérieur à  $a$ , la différence de marche est  $\delta \approx a \sin \theta$ . Calculer la différence de marche pour chaque maximum d'amplitude observé.
- ❑ Représenter le graphe de  $\delta$  en fonction de  $\Delta\varphi$ . Modéliser ce graphe et en déduire une valeur de  $\lambda$  avec son incertitude-type.
- ❑ En déduire la célérité des ultrasons et son incertitude-type.