

# SUJET I – CELERITE DES ULTRASONS DANS L'AIR

La connaissance précise de la célérité du son dans les milieux est essentielle pour les nombreuses applications qui l'utilisent : télémètre à ultrasons, sonar, etc.

Le but de cette épreuve est de mesurer la célérité des ultrasons dans l'air.

Document 1 : traitement des incertitudes	Document 2 : matériel
<p>Lorsqu'une grandeur <math>a</math> est reliée à des grandeurs <math>b</math> et <math>c</math>, dont les incertitudes absolues sont connues, par la relation <math>a = \frac{b}{c}</math>, l'incertitude relative sur <math>a</math> vérifie la relation <math>\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}</math>.</p> <p>Si <math>n</math> valeurs des grandeurs <math>b</math> et <math>c</math> ont été mesurées, alors une bonne estimation <math>a</math> est obtenue par le tracé du graphe de <math>b</math> en fonction de <math>c</math>, modélisé par une droite dont <math>a</math> est le coefficient directeur. L'incertitude du résultat est alors divisée par <math>\sqrt{n}</math> par rapport à l'incertitude sur une seule mesure.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Un système d'acquisition informatisé,</li><li>• Un ordinateur muni du logiciel de pilotage du système d'acquisition, avec sa notice,</li><li>• Un émetteur à ultrasons délivrant des ultrasons de 40 kHz en continu ou par salves.</li><li>• Un GBF pouvant délivrer des tensions sinusoïdales ou créneau.</li><li>• Deux récepteurs d'ultrasons.</li><li>• Un mètre-ruban.</li></ul>

## Travail demandé :

- 1) Proposer un protocole expérimental, utilisant un émetteur d'ultrasons et un ou deux récepteurs, et permettant de déterminer précisément la célérité du son dans l'air.
  - Appeler le professeur.
- 2) Réaliser le protocole proposé.
  - Appeler le professeur.
- 3) En utilisant le document 1, présenter la valeur de la célérité du son dans l'air obtenue, assortie de son incertitude.
- 4) Commenter le résultat obtenu de façon critique et proposer des pistes pour améliorer le protocole en réduisant l'incertitude.

## CORRECTION

1) Plusieurs protocoles sont possibles.

**Première possibilité :**

- ↪ Brancher l'émetteur à ultrasons sur le GBF en mode salves.
- ↪ Relier également le GBF à la synchronisation externe du système d'acquisition et synchroniser l'acquisition sur l'émission de la salve d'ultrasons.
- ↪ Brancher un récepteur à ultrasons sur une entrée du système d'acquisition.
- ↪ Régler l'acquisition avec une fréquence d'échantillonnage supérieure à 500 kHz et une durée d'acquisition inférieure à l'écart entre deux salves
- ↪ Positionner l'émetteur et le récepteur face à face (si possible sur un rail), mesurer la distance  $L$  les séparant et évaluer l'incertitude associée.
- ↪ Faire l'acquisition et mesurer le retard  $\tau$  à la réception. Evaluer l'incertitude associée.
- ↪ Reproduire la mesure pour au moins huit positions.
- ↪ Tracer  $L$  en fonction de  $\tau$ , modéliser les points par une fonction affine et déterminer graphiquement son coefficient directeur, égal à la célérité du son dans l'air. (Ceci peut être fait sur papier millimètre ou sur le tableur-grapheur.)

**Deuxième possibilité :**

- ↪ Utiliser un générateur de salves comme ci-dessus, et deux récepteurs reliés au système d'acquisition. L'acquisition n'a pas à être synchronisée.
- ↪ La distance mesurée est la distance entre les deux récepteurs, le retard mesuré est le retard entre les deux réceptions.
- ↪ Le traitement est identique.

**Troisième possibilité :**

- ↪ Brancher l'émetteur d'ultrasons sur le GBF délivrant une tension sinusoïdale de fréquence 40 kHz.
- ↪ Relier deux récepteurs au système d'acquisition, règle à une fréquence d'échantillonnage supérieure à 500 kHz et une durée d'acquisition voisine de 0,2 ms. Régler l'acquisition en mode permanent.
- ↪ Mesurer la période  $T$  des signaux reçus (en mesurant plusieurs périodes) et évaluer l'incertitude associée.
- ↪ Positionner les récepteurs face à l'émetteur, l'un derrière l'autre, si possible sur un rail. Fixer le récepteur le plus proche de l'émetteur et positionner le deuxième récepteur de sorte que les signaux reçus soient en phase. Noter la position du deuxième récepteur.
- ↪ Reculer le deuxième récepteur de manière à faire défiler vingt positions où les signaux sont en phase. Mesurer la distance  $d$  parcourue et évaluer l'incertitude associée.
- ↪ Déduire de la mesure précédente la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$  et l'incertitude associée.
- ↪ Calculer la célérité du son dans l'air.

2) Les évaluations des incertitudes des mesures de durées doit se faire en considérant, sur l'écran, les différentes positions des curseurs acceptables pour la mesure. Pour les mesures de longueurs, on peut considérer qu'une incertitude de 5 mm est acceptable.

3) La vitesse s'obtient, dans les deux premiers protocoles, comme le coefficient directeur de la droite tracée. L'incertitude associée est calculée d'abord sur une seule mesure en utilisant  $\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta \tau}{\tau}$ , puis en divisant le résultat par la racine carrée du nombre de mesures effectuées d'après le document fourni. Pour le troisième protocole, l'incertitude sur  $\lambda$  s'obtient en divisant l'incertitude sur  $\lambda$  par le nombre de longueurs d'onde mesurées. La célérité s'obtient par  $v = \frac{\lambda}{T}$  et l'incertitude associée s'obtient ensuite par  $\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} + \frac{\Delta T}{T}$ .

4) En fonction du protocole utilisé, plusieurs commentaires sont possibles au vu du calcul de l'incertitude. L'incertitude sur  $v$  passe toujours par un calcul d'incertitude relative, ou les sommes des incertitudes relatives liées aux mesures font apparaître les paramètres pour lesquels l'incertitude peut être réduite.