

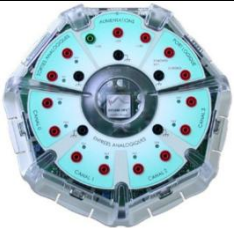
Mesure de la célérité des ultrasons par temps de vol

Les ultrasons sont des sons inaudibles pour l'Homme, de fréquence supérieure à 20 kHz. Les ultrasons utilisés en médecine ont des fréquences comprises entre 2 MHz et 10 MHz : en échographie on utilise des fréquences de 2 MHz pour les organes profonds, 3 MHz pour le cœur, 6 MHz pour la thyroïde ; en vélocimétrie Doppler on utilise des fréquences comprises entre 3 et 6 MHz.

Comme n'importe quel son, les ultrasons perturbent périodiquement les molécules de gaz présentes dans l'air. Lorsqu'un récepteur détecte des ultrasons, il détecte en réalité ces perturbations périodiques : si le récepteur est relié à un oscilloscope, ce dernier traduit ces perturbations par une courbe sinusoïdale dont la fréquence est la même que celle des ultrasons.

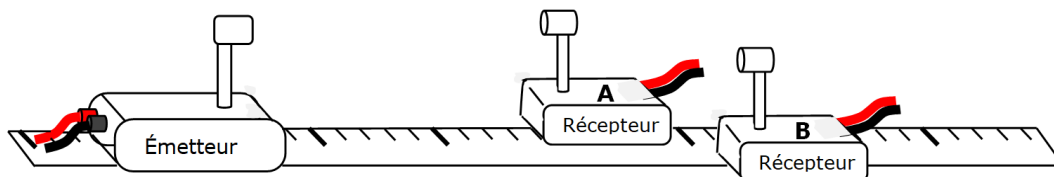
L'objectif de ce TP est de déterminer expérimentalement la célérité des ultrasons.

Le matériel mis à disposition est le suivant :

1 boîtier d'acquisition SYSAM	1 boîtier EME 40 DS.2 générateur d'ultrasons	1 Emetteur + 2 Récepteurs	1 Oscilloscope RIGOL
			

I- INSTALLATION DU MATERIEL ET PRE-REGLAGES

- » Allumer l'oscilloscope.
- » Centrer le signal de la voie CH1 et celui de la voie CH2 en cliquant sur le bouton **C** et sur le bouton **D** (voir la description de ces boutons sur la « Fiche Technique 01 - Oscilloscope »).
- » Positionner le signal de la voie CH1 deux carreaux au-dessus de l'axe des abscisses en tournant le bouton **C**.
- » Positionner le signal de la voie CH2 deux carreaux en-dessous de l'axe des abscisses en tournant le bouton **D**.
- » Allumer l'ordinateur puis à l'aide de deux fils, relier le boîtier EME 40 DS.2 au compartiment ALIMENTATIONS du boîtier d'acquisition SYSAM (ne pas oublier de brancher celui-ci !) :
 - Un fil rouge reliera la borne **+12V** du boîtier EME 40 DS.2 à la borne **+12V** du boîtier d'acquisition SYSAM ;
 - Un fil noir reliera la borne **0V** du boîtier EME 40 DS.2 à la borne  du boîtier d'acquisition SYSAM ;
- » Relier les 2 bornes situées au dos de l'Émetteur à ultrasons aux 2 sorties jaunes du boîtier EME 40 DS.2.
- » Placer les commutateurs du boîtier EME 40 DS.2 sur les modes « **Rapide** » et « **SALVES** » : cela permettra de ne générer des ultrasons que pendant une courte durée (= salve).
- » Relier les 2 bornes situées au dos d'un premier Récepteur à ultrasons aux entrées noire et rouge de l'adaptateur BNC situé sur la voie CH1 de l'oscilloscope (voir description sur la « Fiche Technique 01 - Oscilloscope »).
- » Relier les 2 bornes situées au dos d'un deuxième Récepteur à ultrasons aux entrées noire et rouge de l'adaptateur BNC situé sur la voie CH2 de l'oscilloscope (voir description sur la « Fiche Technique 01 - Oscilloscope »).
- » Disposer l'Émetteur et les deux Récepteurs sur une règle graduée comme ci-dessous.



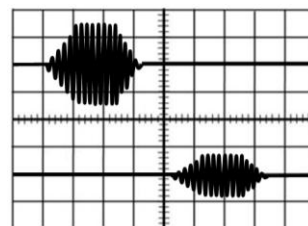
- » Régler la sensibilité horizontale des voies CH1 et CH2 sur la valeur **500 μ s** (ou **0,5 ms**) à l'aide du bouton **A** (la valeur s'affiche en haut à gauche de l'écran) :

» cela signifie qu'horizontalement, 1 carreau représente **500 μ s**.

- » Régler la sensibilité verticale des voies CH1 et CH2 autour de la valeur **0,1 V** à l'aide des boutons **E** et **F** (la valeur s'affiche en bas à gauche de l'écran) :

» cela signifie que verticalement, 1 carreau représente **0,1 V**.

- » Appuyer sur le bouton **RUN/STOP** afin de figer l'écran : vous devriez alors observer 2 salves comme celles représentées ci-contre. Si ce n'est pas le cas, appuyer de nouveau sur le bouton **RUN/STOP** puis changer légèrement les valeurs des sensibilités horizontale et verticale à l'aides des boutons **A**, **E** et **F** (noter alors les nouvelles valeurs de sensibilités choisies).



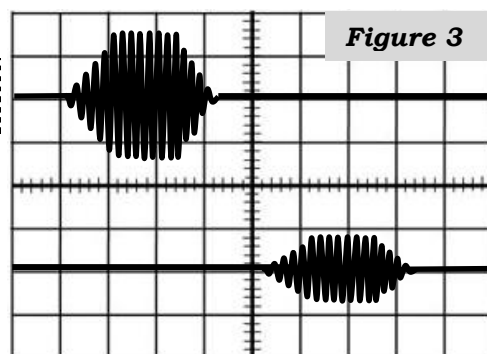
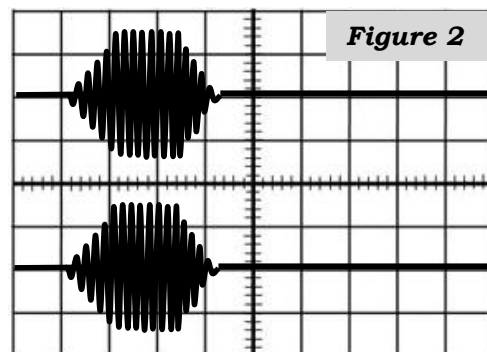
Appeler le professeur pour validation ou en cas de problème !

II- ETUDE DE LA SALVE D'ULTRASONS

- 1- A l'aide de mesures réalisées sur l'écran de votre oscilloscope, déterminer la durée Δt approximative d'une salve d'ultrasons. On accompagnera les différents calculs d'un schéma légendé de la salve faisant apparaître Δt .
- 2- Les ultrasons délivrés par l'Emetteur ont une fréquence $f = 40,0 \text{ kHz}$. En déduire la durée d'une période T et la comparer à la durée Δt . Justifier alors qu'on ne puisse pas distinguer les oscillations à l'intérieur de la salve.

III- PREMIERE MESURE POUR ACCEDER A LA CELERITE DES ULTRASONS

- 3- a) Comment faut-il placer les deux Récepteurs par rapport à l'Emetteur pour obtenir l'oscillogramme de la **Figure 2** ? Justifier.
b) Quel changement faut-il apporter à la disposition précédente pour obtenir l'oscillogramme de la **Figure 3** ? Justifier et expliquer les deux modifications subies par les signaux.
- 4- a) Sur la **Figure 3**, quel récepteur détecte la salve avec un retard par rapport à l'autre ? Représenter ce retard τ sur la figure.
b) Quel calcul faut-il poser avec cette valeur de τ pour déterminer la célérité v des ultrasons ? Expliciter les grandeurs utilisées.



» Disposer les Récepteurs pour être dans la situation de la **Figure 3** ; on prendra pour cela une distance entre les récepteurs au moins égale à 10 cm.

- 5- A l'aide des curseurs de l'oscilloscope (voir à la fin de la « Fiche Technique 01 – Oscilloscope »), déterminer la valeur du retard τ puis la valeur de la célérité v des ultrasons en explicitant clairement le calcul.



Astuce : une fois l'écran figé avec le bouton **RUN/STOP**, on peut modifier les valeurs des sensibilités horizontale et verticale pour faire des mesures plus précises.

IV- ETUDE STATISTIQUE D'UNE SERIE DE MESURES

La mesure réalisée à la question 5- est une mesure unique et nous ne savons pas vraiment quelle crédibilité lui accorder. Pour essayer d'y voir plus clair, on peut mutualiser les résultats de tous les groupes de la classe.

» Réaliser de nouvelles mesures de célérité avec 4 nouvelles distances entre les récepteurs (choisir des distances variées).

- 6- Noter les mesures et les calculs effectués puis inscrire les différentes valeurs de célérité v que vous obtenez sur le tableau de la classe (valeurs arrondies à l'unité).

- 7- A l'aide de votre calculatrice, réaliser une étude statistique pour l'ensemble des résultats de la classe (voir **Exemple 2** dans le II-1. de la « **Fiche Outil 02 – Mesures et Incertitudes** ») : en déduire la valeur de la moyenne $\bar{v}$, de l'écart-type $\sigma(v)$, et de l'incertitude-type $u(v)$ pour les mesures de v réalisées par l'ensemble de la classe. Enfin, exprimer le résultat de la mesure de v sous la forme : $v_{\text{classe}} = \dots \pm \dots \text{ m.s}^{-1}$.



Astuce : La moyenne et l'écart-type peuvent aussi être obtenues en renseignant toutes les valeurs de célérité dans un fichier Python. C'est ce qu'on fera dans les prochains TP.

V- COMPARAISON AVEC LA VALEUR ATTENDUE

La célérité du son dans l'air est une grandeur **tabulée** depuis plus d'un siècle, c'est-à-dire que de nombreux expérimentateurs ont déjà réalisé dans le passé l'expérience avec des incertitudes négligeables, et la mise en commun de ces résultats a permis de dresser une table de valeurs de célérité en fonction de différents paramètres.

Une formule couramment utilisée pour la célérité v_{son} du son dans l'air en m.s^{-1} est :

$$v_{\text{son}} = 0,6 \times \theta + 331 \quad \text{avec } \theta \text{ la température exprimée en } ^\circ\text{C}.$$

Un thermomètre est disposé sur le bureau du professeur et permet de mesurer la valeur de la température de l'air avec une précision égale à « 2 % de la lecture + 4 digits ».

- 8- Repérer la température θ dans la salle de classe et calculer son incertitude notée $u(\theta)$.
- 9- Déterminer la valeur de la célérité v_{son} .
- 10- Exprimer l'incertitude $u(v_{\text{son}})$ sur la célérité du son en fonction de $u(\theta)$, faire l'application numérique et conclure.

Formules des incertitudes composées : (formules fournies en BCPST)

Somme	$G = X + Y$	$u(G) = \sqrt{u^2(X) + u^2(Y)}$
Différence	$G = X - Y$	
Produit	$G = X \times Y$	$u(G) = G \times \sqrt{\left(\frac{u(X)}{X}\right)^2 + \left(\frac{u(Y)}{Y}\right)^2}$
Rapport	$G = \frac{X}{Y}$	
Relation affine	$G = a \times X + b$	$u(G) = a \times u(X)$
Relation de puissance	$G = X^n$	$u(G) = n \times g \times \frac{u(X)}{X}$

- 11- Calculer l'écart normalisé (voir Document ci-dessous et l'**Exemple 7** dans le **III-** de la « **Fiche Outil 02 – Mesures et Incertitudes** ») entre la valeur expérimentale de la célérité obtenue à la question 7- et la valeur théorique obtenue à la question 10-. Conclure.

L'écart normalisé

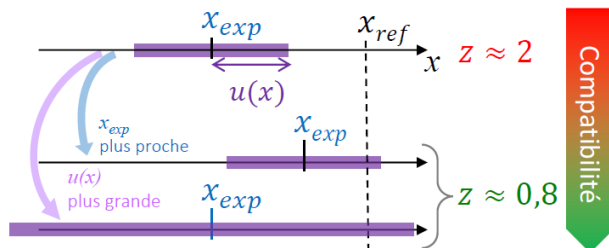
Pour comparer la valeur mesurée x_{EXP} et la valeur de référence x_{REF} , on calcule l'**Ecart Normalisé**, noté E_N et aussi appelé **Z-score**. On définit cette grandeur comme l'écart absolu entre la valeur mesurée x_{EXP} et la valeur de référence x_{REF} , divisé par la différence d'incertitude associée à la valeur mesurée et la valeur de référence, respectivement notées $u(x_{\text{EXP}})$ et $u(x_{\text{REF}})$.

$$E_N = \frac{|x_{\text{EXP}} - x_{\text{REF}}|}{\sqrt{u(x_{\text{EXP}})^2 + u(x_{\text{REF}})^2}}$$

Par convention, la valeur mesurée est compatible avec la valeur de référence si : $E_N < 2$

Interprétation :

Une valeur de E_N inférieure à 2 signifie que l'intervalle $[x_{\text{EXP}} - u(x); x_{\text{EXP}} + u(x)]$ contient la valeur de x_{REF} .



VI- LONGUEUR D'ONDE DES ULTRASONS

On rappelle que les Emetteurs produisent des ultrasons de fréquence $f = 40,0 \text{ kHz}$ et on supposera que la précision indiquée par le constructeur est de 2 %.

- 12- A l'aide du résultat obtenu à la question 7-, déterminer une valeur expérimentale de la longueur d'onde λ des ultrasons générés par le dispositif utilisé pendant ce TP.
- 13- Exprimer l'incertitude $u(\lambda)$ sur cette valeur de longueur d'onde en fonction de la longueur d'onde λ , de la célérité du son v_{son} et de son incertitude $u(v_{\text{son}})$. Faire l'application numérique et conclure.