

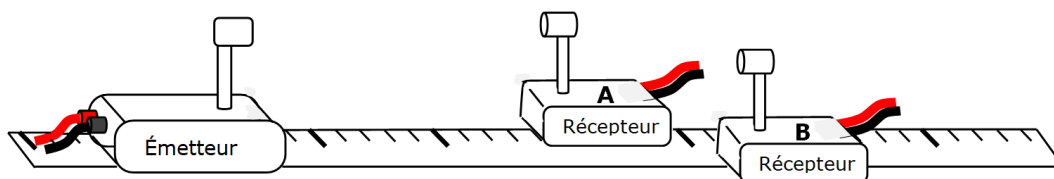
Mesure de la célérité des ultrasons via longueur d'onde et fréquence

Dans le TP précédent, nous avons accédé à la célérité des ultrasons via la mesure d'un temps de vol entre deux récepteurs. Dans la séance d'aujourd'hui, nous allons accéder à cette même donnée via un calcul mettant en jeu la fréquence des ultrasons et leur longueur d'onde.

I- INSTALLATION DU MATERIEL ET PRE-REGLAGES

Le matériel utilisé est le même que celui utilisé lors du TP Physique 02.

- » 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 »).
- » 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 reliant la borne **+12V** du boîtier EME 40 DS.2 à la borne **+12V** du boîtier d'acquisition SYSAM ;
 - Un fil noir reliant 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 le commutateur de droite du boîtier EME 40 DS.2 sur le mode « **CONTINU** » : cela permettra de générer des ultrasons en permanence.
- » 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 »).
- » Faire de même avec un deuxième Récepteur à ultrasons en le reliant à la voie **CH2** de l'oscilloscope.
- » Disposer l'Émetteur et les deux Récepteurs sur une règle graduée comme ci-dessous.

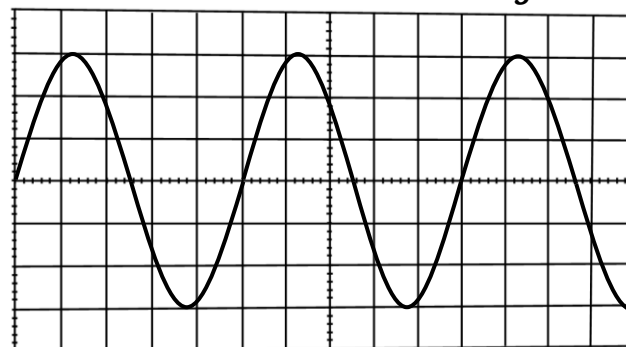


Appeler le professeur pour validation !

Dans ce TP, l'Émetteur d'ultrasons est utilisé en mode CONTINU : contrairement au TP précédent où les ultrasons n'étaient émis que pendant un court laps de temps (pendant une SALVE), ils seront donc ici émis en permanence. On observera alors un profil sinusoïdal tel que celui représenté en **Figure 1**.

- 1- Les ultrasons générés ayant une fréquence d'environ 40 kHz et les récepteurs utilisés les détectant avec une amplitude de quelques dizaines de millivolts, en déduire une valeur approximative de la sensibilité verticale (= échelle verticale pour une division) et de la base de temps (= échelle horizontale pour une division) pour les voies CH1 et CH2 afin de pouvoir observer un signal correct tel que celui représenté sur la **Figure 1** (au moins 2 périodes temporelles et un signal qui occupe verticalement le maximum de place).

Figure 1



- » Garder à l'écran uniquement le signal jaune de la voie **CH1** (appuyer pour cela une ou plusieurs fois sur le bouton **CH2**, ce qui fera disparaître le signal bleu de la voie **CH2**).
- » Régler la base de temps à l'aide du bouton **A** et la sensibilité verticale de la voie **CH1** à l'aide du bouton **E** sur les valeurs prévues à la question 1-. On modifiera éventuellement le réglage du bouton **E** afin que la sinusoïde occupe verticalement l'écran de façon optimale.
- » Régler la sensibilité verticale de la voie **CH2** à l'aide du bouton **F** sur le même réglage que celui du bouton **E**.
- » Afficher à l'écran le signal bleu de la voie **CH2** (appuyer pour cela une fois sur le bouton **CH2**) et modifier éventuellement le réglage du bouton **F** afin que la sinusoïde bleue ait une amplitude quasiment identique à celle du signal jaune.
- » Une fois ces réglages effectués, garder à l'écran uniquement le signal jaune de la voie **CH1**.



Astuce : si nécessaire, figer l'écran de l'oscilloscope avec le bouton **RUN/STOP** de l'oscilloscope.

II- FREQUENCE DES ULTRASONS

- 2- Comment évaluer la fréquence f des ultrasons à l'aide de l'oscillogramme enregistré précédemment ? Préciser pour cela la grandeur que vous allez mesurer, comment vous allez la mesurer (légèrer l'oscillogramme de la Figure 1) puis le calcul que vous ferez avec cette grandeur pour obtenir la fréquence f (ne pas réaliser de calcul dans cette question).
- 3- Déterminer la valeur de la fréquence f des ultrasons à l'aide du mode « Curseurs » de l'oscilloscope (voir leur utilisation au verso de la « Fiche Technique 01 – L'oscilloscope »).

Comme tout résultat de mesure, la valeur $f_{\text{calculée}}$ de la fréquence déterminée précédemment comporte une marge d'erreur appelée incertitude et notée $u(f)$. Ainsi, la fréquence des ultrasons est comprise entre les valeurs $f_{\text{calculée}} - u(f)$ et $f_{\text{calculée}} + u(f)$, ce qui se note $u(f) = f_{\text{calculée}} \pm u(f)$.

Cette fréquence $f_{\text{calculée}}$ a été calculée à partir d'une mesure de période (notée $T_{\text{mesurée}}$) qui possède elle-même une incertitude (notée $u(T)$) liée à la façon dont elle a été mesurée à l'oscilloscope. Les formules de propagation des incertitudes composées (voir II-4. de la « Fiche Outil 02 – Mesures et Incertitudes ») montrent alors que les incertitudes $u(f)$ et $u(T)$ sont reliées par la formule : $u(f) = \frac{u(T)}{T^2_{\text{mesurée}}}$.

On montre aussi que, dans le cas d'une double lecture (ce qui est le cas pour la mesure de la période), l'incertitude se calcule par la relation :

$$u(T) = \frac{\text{graduation}}{\sqrt{6}}$$

Mais qu'appelle-t-on « graduation » sur l'oscilloscope ?

Pour un instrument gradué tous les mm, il est simple de comprendre que ce qu'on appelle une « graduation » vaut 1 mm. De même, pour un thermomètre gradué tous les 2 °C, une « graduation » vaut 2 °C. Mais qu'en est-il pour l'oscilloscope ?

En plaçant correctement les curseurs verticaux, l'oscilloscope indique la valeur d'une durée ΔT , par exemple $\Delta T = 1,24$ s. Mais cela ne veut pas dire que l'oscilloscope affiche une valeur de ΔT précise à 0,01 s près. Pour connaître cette précision, décaler d'un cran l'un des curseurs (vers la droite ou vers la gauche) et observer de combien a varié la valeur affichée de ΔT ; si par exemple la nouvelle valeur de ΔT qui est affichée vaut 1,28 s, on en déduit que cette valeur est précise à 0,04 s près et c'est ce qu'on appelle la « graduation ».

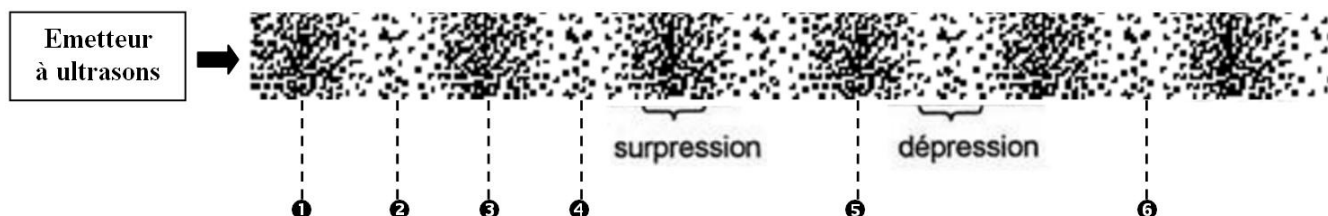
- 4- A l'aide de ces informations, déterminer successivement les valeurs de $u(T)$ puis de $u(f)$ sans trop arrondir.
- 5- Donner alors le résultat de la mesure expérimentale de la fréquence (= valeur de f accompagnée de son incertitude-type $u(f)$) avec un nombre de chiffres significatifs adapté.

Appeler le professeur pour validation !

III- LONGUEUR D'ONDE DES ULTRASONS

Doc 1 – Description de l'onde ultrasonore

Une onde (ultra)sonore est une succession spatiale périodique de surpressions (molécules d'air plus serrées que la moyenne) et de dépressions (molécules d'air plus espacées que la moyenne) qu'on peut schématiser comme ci-dessous (chaque point représente une molécule d'air).



Doc 2 – Définition de la longueur d'onde (Rappel)

La longueur d'onde λ est la plus petite distance séparant deux points du milieu dans le même état de perturbation ; on dit alors de ces points qu'ils vibrent en phase. Cette distance s'exprime en mètre.

- 6- Après avoir lu les **documents 1 à 3**, indiquer si les signaux observés sur l'écran de l'oscilloscope seront en phase ou en opposition de phase si on place les récepteurs **A** et **B** sur les positions ci-dessous :

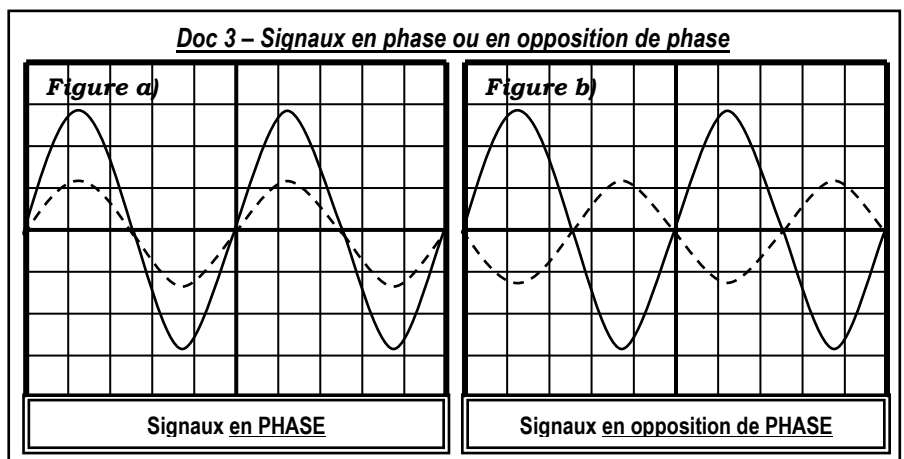
A ❶ et B ❶ ; A ❶ et B ❷ ; A ❶ et B ❸ ; A ❷ et B ❷ ; A ❷ et B ❹ ; A ❹ et B ❹

- 7- Quelles positions du **Document 1** sont séparées de :

λ ?

2λ ?

3λ ?



- 8- Un protocole propose de placer les deux récepteurs côte à côte pour observer des signaux en phase puis d'éloigner progressivement l'un d'eux de l'émetteur jusqu'à ce que les signaux reviennent en phase. De quelle distance caractéristique aura-t-on alors éloigné ce récepteur ?
- 9- Il est préférable de mesurer la distance correspondant à plusieurs longueurs d'onde puis de diviser cette distance par le nombre de longueurs d'ondes mesurées. Pourquoi ?

► Réaliser la mesure de la longueur d'onde en suivant les consignes des questions 8- et 9-.

- 10- Donner alors le résultat de la mesure expérimentale de la longueur d'onde λ (= valeur de λ accompagnée de son incertitude-type $u(\lambda)$) avec un nombre de chiffres significatifs adapté.

NB : L'incertitude $u(\lambda)$ sur la longueur d'onde est donnée par la formule : $u(\lambda) = \frac{\text{graduation}}{n\sqrt{6}}$ avec :

- n = nombre de longueurs d'ondes estimées lors de la mesure ;
- **graduation** = plus petite graduation de la règle graduée.

Appeler le professeur pour validation !

IV- DETERMINATION DE LA CELERITE DES ULTRASONS

Formules des incertitudes composées :
(formules fournies en BCPST)

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	$G = a \times X + b$	

1) Valeur expérimentale

- 11- A l'aide de la fréquence obtenue à la question 5- et de la longueur d'onde obtenue à la question 10-, déterminer la valeur de la célérité v_1 des ultrasons lors de cette expérience.

Pour calculer cette valeur v de célérité, vous vous êtes servi des valeurs de fréquence f et de longueur d'onde λ qui possédaient chacune une incertitude respective $u(f)$ et $u(\lambda)$. La valeur v_1 de la célérité présente donc forcément une incertitude $u(v_1)$; on peut déterminer la valeur de cette incertitude en utilisant les formules d'incertitudes composées.

- 12- Déterminer la valeur de $u(v_1)$ puis exprimer le résultat de la mesure expérimentale de la célérité des ultrasons (valeur de v_1 accompagnée de son incertitude-type $u(v_1)$) avec un nombre de chiffres significatifs adapté.

2) Valeur théorique

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 ».

- 13- Repérer la température θ dans la salle de classe puis déterminer son incertitude notée $u(\theta)$.
- 14- En déduire la valeur de la célérité v_{son} obtenue en utilisant la formule ci-dessus et l'accompagner de son incertitude notée $u(v_{\text{son}})$.
- 15- Les valeurs de la célérité du son obtenues aux questions 12- et 14- sont-elles compatibles ? Justifier en calculant un écart normalisé.