Corrigé du TP: Mesure de la célérité des ultrasons dans l'air

Mesures en accord avec les animations qui sont sur le site physiquepovo.com

Erreurs à éviter:

- Toutes les mesures de longueur doivent être assez grandes pour minimiser l'erreur relative sur ces mesures… au moins 30cm.
- Attention aux chiffres significatifs sur les mesures : longueurs à 1mm près, mesures sur l'oscilloscope à 2 dixièmes de divisions près.

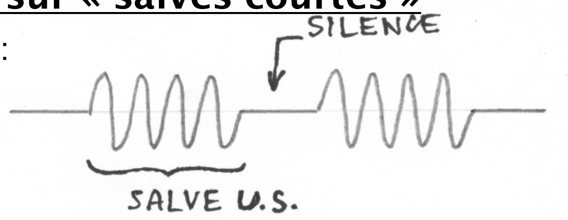
Les ultrasons sont des ondes sonores de fréquence **N** supérieure à celle des sons les plus aigus perceptibles par l'oreille humaine (**N** supérieure à 20.10^3Hz).
Ils sont donc inaudibles pour nous (mais audibles par certains animaux).

Matériel disponible sur la paillasse:

- Emetteur d'ultrasons alimenté par un générateur de tension continue 15V
- 2 récepteurs d'ultrasons reliés aux entrées A et B d'un oscilloscope bicourbe par des cables blindés pour limiter l'influence des ondes électromagnétiques ambiantes.
- 1 banc d'optique gradué en mm

Méthode n°1 : l'émetteur doit être positionné sur « salves courtes »

Nous utilisons ici un générateur de **salves d'ultrasons** :
Il émet des ultrasons pendant une durée brève,
puis n'émet plus rien, avant de réémettre,
et ceci **de façon périodique**.



- Déduire de ces explications la définition d'une salve.

Une salve correspond à une émission d'ultrasons pendant une durée limitée, encadrée par des temps de silence.

- Déterminer la période T_1 des salves et la période T_2 des ultrasons en détaillant le calcul et en évaluant les incertitudes.

Période T_1 des salves $\rightarrow$ mesure sur l'écran: 8,3±0,2cm calibre:0,5ms/cm

$\rightarrow T_1 = 8{,}3 \times 0{,}5.10^{-3} = 4{,}15.10^{-3}s$ et $\Delta T_1 = 0{,}2 \times 0{,}5.10^{-3} = 0{,}1.10^{-3}s$

$\rightarrow T_1 = 4{,}15.10^{-3} \pm 0{,}1.10^{-3}s$ $\boxed{T_1 = 4{,}1.10^{-3} \pm 0{,}1.10^{-3}s}$

Période T_2 des ultrasons $\rightarrow$ mesure sur l'écran: 8,6±0,2cm calibre:50µs/cm Nb de périodes mesurées:10

$\rightarrow T_2 = 8{,}6 \times 50.10^{-6} / 10 = 4{,}3.10^{-5}s$ et $\Delta T_2 = 0{,}2 \times 50.10^{-6} / 10 = 0{,}1.10^{-5}s$

$\rightarrow T_2 = 4{,}3.10^{-5} \pm 0{,}1.10^{-5}s$ $\boxed{T_2 = 4{,}3.10^{-5} \pm 0{,}1.10^{-5}s}$

Remarque: La fréquence des U.S. est $F_2 = 1/T_2 = 23.10^3$Hz. Elle est bien inaudible pour l'oreille humaine.

- Il n'est pas nécessaire d'utiliser ici un oscilloscope à mémoire…pourquoi ?

Les salves sont émises de façon périodique avec une fréquence suffisante (≥50Hz) pour que les courbes ne clignotent pas à l'écran.
L'oscilloscope à mémoire est nécessaire pour observer des phénomènes lents ou non périodiques.

- Proposer un protocole pour déterminer la célérité des ultrasons dans l'air.

*Les deux récepteurs R1 et R2 sont positionnés en face de l'émetteur, contre le banc d'optique, à une distance **D** l'un de l'autre (D≥30cm). L'oscilloscope permet de mesurer le décalage temporel τ entre la réception des salves par R1 puis par R2. La célérité des U.S. se calcule par la relation $\boldsymbol{V = D/\tau}$*

- Effectuer les mesures nécessaires en évaluant les incertitudes associées et en conservant uniquement les chiffres significatifs.

$\boldsymbol{D = 40{,}0.10^{-2} \pm 0{,}1.10^{-2}m}$ *τ correspond à 5,9±0,2cm sur l'écran calibre:0,2ms/cm*

$\tau = 5{,}9 \times 0{,}2.10^{-3} = 1{,}18.10^{-3}s$ $\Delta\tau = 0{,}2 \times 0{,}2.10^{-3} = 0{,}04.10^{-3}s$ donc $\boldsymbol{\tau = 1{,}18.10^{-3} \pm 0{,}04.10^{-3}s}$

- Déduire de ces mesures la valeur de la célérité des ultrasons dans l'air en utilisant pour le calcul de l'incertitude la relation: $\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta t}{t}$

$V = D/\tau = 40{,}0.10^{-2}/1{,}18.10^{-3} = 339 m.s^{-1}$ et $\frac{\Delta V}{339} = \frac{0{,}1}{40} + \frac{0{,}2}{5{,}9} = 0{,}0364 \rightarrow \Delta V = 12 m.s^{-1}$ **$V = 339 \pm 12$ m.s^{-1}**

Méthode n°2 : L'émetteur doit être positionné sur « émission continue »

- Mesurer la période T_3 des ondes U.S. (ultra sonores) et compare avec la valeur T_2 trouvée précédemment. Ces mesures sont-elles compatibles ?

Période T_3 des U.S. → mesure sur l'écran: 4,6±0,2cm calibre:10µs/cm

$\rightarrow T_3 = 4{,}6 \times 1.10^{-5} = 4{,}6.10^{-5}$s et $\Delta T_3 = 0{,}2 \times 1.10^{-5} = 0{,}2.10^{-5}$s $\boxed{T_3 = 4{,}6.10^{-5} \pm 0{,}2.10^{-5}s}$

T_3 est donc compris entre $4{,}4.10^{-5}$s et $4{,}8.10^{-5}$s tandis que T_2 est compris entre $4{,}2.10^{-5}$s et $4{,}4.10^{-5}$s.
Ces intervalles n'ont qu'une valeur en commun!...
On peut écrire $T_2 = T_3$ mais il faudrait faire d'autres mesures pour valider vraiment cette hypothèse.

- Proposer un protocole pour déterminer la célérité des ultrasons dans l'air.

Les deux récepteurs R1 et R2 sont positionnés en face de l'émetteur, contre le banc d'optique, à proximité l'un de l'autre, de façon à ce que les ondes reçues (visibles sur l'oscilloscope) soient en phase.
On éloigne R2 de R1 de façon à ce que les ondes reçues reviennent en phase: R2 a ainsi été déplacé d'une distance égale à la longueur d'onde des ultra-sons.
*Cette distance étant petite, on recommence l'opération un nombre **n** de fois de façon à limiter les incertitudes de mesure. La distance **D** dont a été déplacé R2 doit être supérieure à 30cm.*
*On calcule ainsi la longueur d'onde des ultra-sons: **$\lambda = D/n$***
*La célérité des U.S. se calcule alors par la relation **$V = \lambda / T_3$***

- Effectuer les mesures nécessaires en évaluant les incertitudes associées et en conservant uniquement les chiffres significatifs.

$T_3 = 4{,}6.10^{-5} \pm 0{,}2.10^{-5}$s D=31,4±0,1cm pour n=20 donc $\lambda = 31{,}4/20 = 1{,}570$cm et $\Delta\lambda = 0{,}1/20 = 0{,}005$cm
$\lambda = 1{,}570.10^{-2} \pm 0{,}005.10^{-2}$cm

- Déduire de ces mesures la valeur de la célérité des ultrasons dans l'air en utilisant pour le calcul de l'incertitude la relation: $\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta t}{t}$

$V = \lambda / T_3 = 1{,}570.10^{-2}/4{,}6.10^{-5} = 341 m.s^{-1}$ et $\frac{\Delta V}{341} = \frac{0{,}1}{31{,}4} + \frac{0{,}2}{4{,}6} = 0{,}0467 \rightarrow \Delta V = 16 m.s^{-1}$ **$V = 341 \pm 16$ m.s^{-1}**

- Comparer avec la valeur trouvée en utilisant la première méthode.
  Sont-elles compatibles?

***$V_1 = 339 \pm 12$ m.s^{-1}** donc **V_1** compris entre 327 et 351m.s^{-1}*
***$V_2 = 341 \pm 16$ m.s^{-1}** donc **V_2** compris entre 325 et 357m.s^{-1}*
Ces intervalles de confiance ont des valeurs en commun donc ces mesures sont compatibles.

- Calculer la valeur moyenne de ces 2 mesures effectuées avec des méthodes différentes et l'écart relatif entre cette valeur moyenne et la valeur communément admise: 340m.s^{-1}.

valeur moyenne de ces deux mesures: $V_{moy} = (V_1+V_2)/2 = 340 m.s^{-1}$
écart absolu avec la valeur officielle: $V_{moy} - V = 340-340 = 0$
écart relatif = écart absolu / valeur de référence = 0 / 340 = 0 soit en pourcentage 0x100=0%