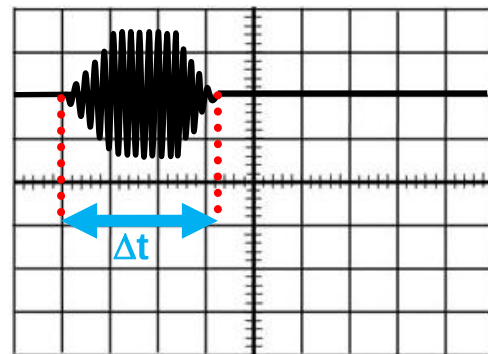


Mesure de la célérité des ultrasons par temps de vol (CORRIGE)

- 1- Sur la figure ci-contre, **une salve occupe 3,3 divisions horizontales**. Comme la base de temps est réglée sur le calibre **500 $\mu\text{s}/\text{div}$** , on en déduit que la durée Δt d'une salve vaut :

$$\Delta t = 3,3 \times 500 \mu\text{s} \quad \text{soit} \quad \Delta t = 1,65 \cdot 10^3 \mu\text{s} = 1,65 \text{ ms}$$



- 2- Par définition, $T = 1 / f$.

$$T = 1 / 40,0 \cdot 10^3, \quad \text{soit} \quad T = 2,50 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 25,0 \mu\text{s}$$

On constate que le rapport $\Delta t / T$ vaut alors 66, ce qui signifie qu'il y a **66 oscillations dans une salve**, c'est à dire sur les 3,3 divisions horizontales qu'elle occupe.

C'est pour cela qu'on ne peut pas distinguer ces oscillations à l'œil : il faudrait pour cela zoomer horizontalement le signal, en réglant la base de temps sur un calibre plus petit, comme par exemple 10 $\mu\text{s}/\text{div}$ ou 20 $\mu\text{s}/\text{div}$.

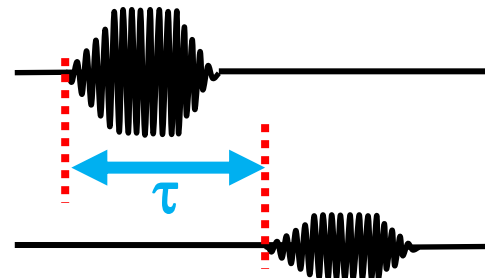
- 3-a/ Sur la **Figure 2**, les deux signaux sont détectés au même moment par chaque récepteur : on en déduit donc que ces deux récepteurs sont situés à la même distance de l'émetteur.

- 3-b/ Sur la **Figure 3**, les deux signaux ne sont pas détectés au même moment par chaque récepteur : le signal du bas (voie CH2) étant situé plus à droite sur l'écran, on en déduit qu'il est donc détecté plus tardivement que le signal du haut (voie CH1). Cela implique donc que **le récepteur relié à la voie CH2 est plus éloigné de l'émetteur que le récepteur relié à la voie CH1**.

On constate par ailleurs que la salve détectée sur la voie CH2 a une plus faible amplitude que celle de la voie CH1 : on dit que **les ondes s'amortissent** avec la distance. Cela est lié à une dissipation de l'énergie transportée par les ondes sonores au fur et à mesure de leur propagation.

- 4-a/ Le récepteur qui détecte la salve en retard est celui dont la salve est située la plus à droite sur l'écran. Il s'agit donc du **récepteur relié à la voie CH2**.

Le retard τ du récepteur relié à la voie CH2 par rapport au récepteur relié à la voie CH1 est représenté ci-contre. Attention à bien prendre le même point de référence sur les deux salves (ici, l'instant où la salve commence à être détectée par chaque récepteur).



- 4-b/ Cette **durée τ** correspond finalement à la durée nécessaire aux ultrasons pour parcourir la **distance d** séparant les deux récepteurs à la **célérité v** .

Par définition, on a donc : $v = d / \tau$.

- 5- Par exemple, pour une distance **$d = 30,0 \text{ cm}$** , on obtient **$\tau = 870 \mu\text{s}$** .
On a donc **$v = 0,300 / 870 \cdot 10^{-6}$** soit **$v = 345 \text{ m.s}^{-1}$**

- 6- /

- 7- Valeur moyenne : **332.18 m/s**
Ecart-type : **27.24918272505936 m/s**
Incertitude type : **3.85361637733616 m/s**

On garde 1 CS pour l'incertitude-type en la majorant, soit **$u(v) = 4 \text{ m.s}^{-1}$** ;

Le résultat de la valeur moyenne doit être exprimé avec le même rang d'information que l'incertitude, c'est-à-dire à l'unité près, donc **$v = 332 \text{ m.s}^{-1}$** .

On exprime alors la vitesse sous la forme : **$v = 332 \pm 4 \text{ m.s}^{-1}$**

- 8- Le thermomètre à affichage numérique annonce une température **$\theta = 26 \text{ }^\circ\text{C}$** .

Sa précision « a » étant égale à **2 % de la lecture + 4 digits** et l'incertitude sur la température étant donnée par la formule $u(\theta) = \frac{a}{\sqrt{3}}$, on en déduit que $u(\theta) = \frac{\frac{2}{100} \times 26 + 4 \times 1}{\sqrt{3}}$, soit **$u(\theta) = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$** (la valeur obtenue à la calculatrice est égale à 2,61 °C, mais on ne garde qu'un seul chiffre significatif pour que l'incertitude soit donnée à l'unité près, comme l'affichage du thermomètre 26 °C).

Cela signifie que **$\theta = 26 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$** .

- 9- Pour calculer la célérité théorique du son, on utilise la formule : $v_{\text{SON}}(\text{théo}) = 331 + 0,6 \times \theta$
AN → $v_{\text{SON}}(\text{théo}) = 0,6 \times 26 + 331$ soit **$v_{\text{SON}}(\text{théo}) = 347 \text{ m.s}^{-1}$**

- 10- La valeur de $v_{\text{SON}}(\text{théo})$ étant obtenue via un calcul, son incertitude $u(v_{\text{SON}}(\text{théo}))$ est obtenue en utilisant la formule « affine » des incertitudes composées, ce qui conduit à :

$$u(v_{\text{SON}}(\text{théo})) = 0,6 \times u(\theta)$$

AN → $u(v_{\text{SON}}(\text{théo})) = 0,6 \times 2,61$ soit **$u(v_{\text{SON}}(\text{théo})) = 2 \text{ m.s}^{-1}$**

Conclusion : cela signifie que **$v_{\text{SON}}(\text{théo}) = 347 \pm 2 \text{ m.s}^{-1}$** .

- 11- On applique la formule : $E_N = \frac{|v_{\text{SON}}(\text{expérience}) - v_{\text{SON}}(\text{théo})|}{\sqrt{u(v_{\text{SON}}(\text{expérience}))^2 + u(v_{\text{SON}}(\text{théo}))^2}}$

Avec : $v_{\text{SON}}(\text{expérience}) = 332 \text{ m.s}^{-1}$;
 $v_{\text{SON}}(\text{théo}) = 347 \text{ m.s}^{-1}$;
 $u(v_{\text{SON}}(\text{expérience})) = 4 \text{ m.s}^{-1}$;
 $u(v_{\text{SON}}(\text{théo})) = 2 \text{ m.s}^{-1}$

On obtient **$E_N = 3,4$**

Cet écart normalisé est supérieur à 2, il y a donc **INCOMPATIBILITE entre la valeur expérimentale et la valeur théorique**, probablement liée à une **valeur de $v_{\text{SON}}(\text{théorique})$ fautive** (température de 26 °C surestimée !).

- 12- On peut déterminer la longueur d'onde λ des ultrasons via la formule : $\lambda = \frac{v_{\text{son}}}{f}$

Avec : $v_{\text{SON}} = 332 \text{ m.s}^{-1}$; $f = 40 \text{ kHz} = 40.10^3 \text{ Hz}$

On obtient **$\lambda = 8,3.10^{-3} \text{ m}$** (vérification qui sera faite dans le TP Physique 03)

- 13- La fréquence des ultrasons produits par les émetteurs ayant une précision de 2 %, on en déduit que l'incertitude $u(f)$ sur la fréquence f vaut : $u(f) = \frac{0,02 f}{\sqrt{3}}$ (application numérique non demandée).

De plus, d'après les formules d'incertitudes composées, $u(\lambda) = \lambda \times \sqrt{\left(\frac{u(v_{\text{SON}})}{v_{\text{SON}}}\right)^2 + \left(\frac{u(f)}{f}\right)^2}$. On en

déduit donc que : $u(\lambda) = \lambda \times \sqrt{\left(\frac{u(v_{\text{SON}})}{v_{\text{SON}}}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{\sqrt{3}}\right)^2}$

avec : $v_{\text{SON}} = 332 \text{ m.s}^{-1}$; $u(v_{\text{SON}}) = 4 \text{ m.s}^{-1}$; $\lambda = 8,3.10^{-3} \text{ m}$

On obtient **$\lambda = 8,3.10^{-3} \text{ m}$** (vérification qui sera faite dans le TP Physique 03)