

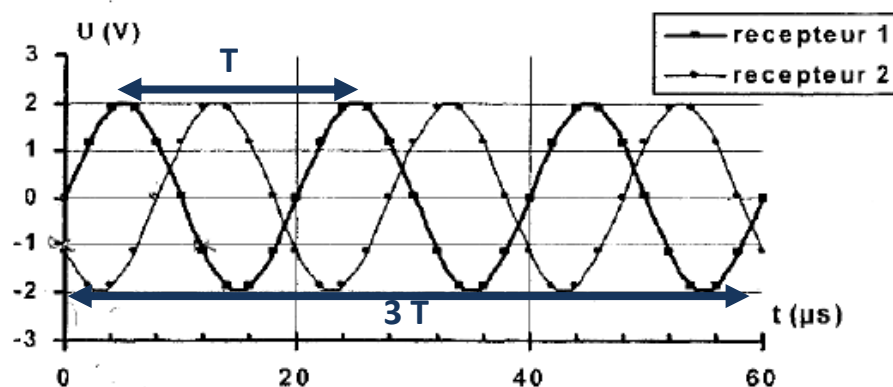
A – Onde sonore

- On appelle onde la propagation dans l'espace d'une perturbation locale d'une grandeur physique, sans transport macroscopique de matière, mais avec transport d'énergie.
- Une onde sonore *nécessite un milieu matériel pour se propager*, il s'agit d'une onde mécanique.
La direction de la perturbation (succession de compressions / dilatations du milieu) *est parallèle à la direction de la propagation*, il s'agit d'une onde longitudinale.
- Les ultrasons sont des ondes de fréquence plus élevée que la limite maximale audible par un être humain soit de fréquence $f > 20 \text{ kHz}$.

B – Caractéristique des ultrasons dans l'eau

- Pour déterminer la fréquence f des ondes émises, on mesure leur période T , plus petite durée au bout de laquelle le signal se reproduit identique à lui-même.

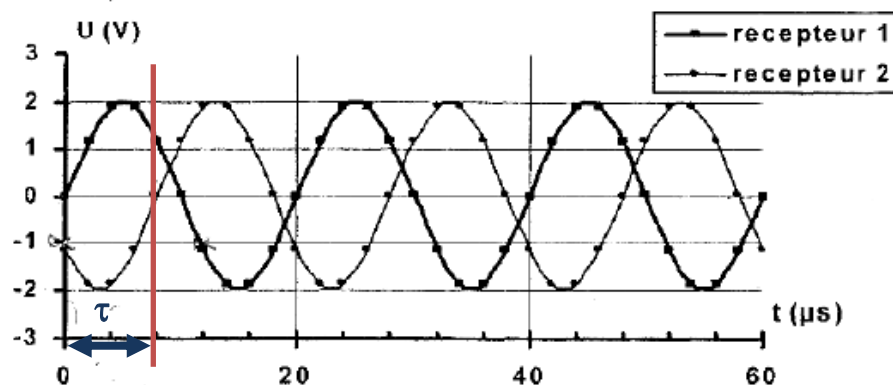
Cela correspond donc aussi à la plus petite durée au bout de laquelle chaque point du milieu se retrouve dans le même état de perturbation, c'est à dire sur la *figure 1*, la durée séparant deux maxima consécutifs de chaque onde.



Sur l'oscillogramme proposé, on mesure $3 \times T = 60 \mu\text{s} \Rightarrow T = 20 \mu\text{s} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ s}$.

On en déduit la fréquence : $f = \frac{1}{T}$ AN (avec T en s) $\rightarrow f = 5,0 \cdot 10^4 \text{ Hz} = 50 \text{ kHz}$

- Le retard temporel τ entre les deux récepteurs est la durée nécessaire à l'onde pour parcourir la distance d séparant les deux récepteurs. Cela revient donc à dire que c'est la durée mise par l'onde pour se retrouver sur le récepteur 2 dans le même état que celui qui était le sien sur le récepteur 1.



Le signal reçu sur le récepteur 1 arrive sur le récepteur 2 avec un retard $\tau = 8,0 \mu\text{s}$

-
6. L'onde sonore parcourant la distance d pendant la durée τ à la célérité c , on a par définition de la célérité : $c = \frac{d}{\tau}$.

AN : $c = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{8,0 \cdot 10^{-6}}$ soit $c = 1,5 \cdot 10^3 \text{ m.s}^{-1}$

7. La meilleure estimation de la célérité des ondes ultrasonores dans l'eau est donnée par la **moyenne des différentes mesures** réalisées dans les mêmes conditions :

$$c_{exp} = c_{moy}$$

On utilise le mode statistique de la calculatrice : $c_{exp} = 1,512 \dots \cdot 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

(A ce stade, on garde un nombre de chiffres significatifs plus important que la normale pour pouvoir arrondir plus tard, une fois l'incertitude-type déterminée).

8. L'incertitude-type $u(c_{exp})$ associée à cette estimation est obtenue en divisant l'écart-type σ de la distribution par la racine du nombre n de mesures : $u(c_{exp}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$.

La calculatrice donne l'écart-type de la distribution : $\sigma = 52,026 \dots \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ avec $n = 10$ mesures.

L'incertitude-type vaut donc : $u(c_{exp}) = \frac{52,026}{\sqrt{10}}$ soit $u(c_{exp}) = 16,45 \dots \text{ m.s}^{-1}$

9. On peut choisir d'écrire le résultat expérimental avec 1 ou 2 chiffres significatifs pour l'incertitude-type :

Avec 2 chiffres significatifs : $c_{exp} = (1,512 \pm 0,017) \cdot 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 1512 \pm 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Avec 1 chiffre significatif : $c_{exp} = (1,51 \pm 0,02) \cdot 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

10. La valeur communément retenue de la vitesse du son dans l'eau est $c_{OdG} = 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

L'écart-normalisé est : $E_N = \frac{|c_{OdG} - c_{exp}|}{\sqrt{u(c_{OdG})^2 + u(c_{exp})^2}}$ avec $u(c_{OdG})$ l'incertitude sur la valeur de c_{OdG} .

Comme $u(c_{OdG})$ n'est pas fournie, on la considère comme négligeable et donc, $E_N = \frac{|c_{OdG} - c_{exp}|}{u(c_{exp})}$.

AN : Avec 2 CS : $E_N = \frac{|1500 - 1512|}{17}$ soit $E_N = 0,71$;

Avec 1 CS : $E_N = \frac{|1500 - 1,51 \cdot 10^3|}{0,02 \cdot 10^3}$ soit $E_N = 0,5$.

Dans les deux cas, la valeur obtenue de l'écart normalisé est inférieure à 2 ce qui confirme la **compatibilité des deux valeurs de célérités comparées**.

C – Signal émis par les dauphins

11. • Le début du clic, situé en $x = 0$, à l'instant $t_{0D} = t_0 = 0$, parvient au détecteur situé en $x = \ell$, à l'instant t_D cherché.

Par définition de la célérité des ondes dans l'eau : $c = \frac{\text{distance parcourue par le début du signal}}{\text{temps mis pour la parcourir}}$

$$\text{Soit : } c = \frac{\ell - 0}{t_D - t_{0D}} \leftrightarrow c = \frac{\ell}{t_D} \leftrightarrow \boxed{t_D = \frac{\ell}{c}} \quad \underline{AN} \rightarrow t_D = \frac{0,30}{1,5 \cdot 10^3} \text{ soit } \underline{t_D = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ s.}}$$

- De manière analogue, la fin du clic, situé en $x = 0$, à l'instant $t_{0F} = \Delta t_i$, parvient au détecteur situé en $x = \ell$, à l'instant t_F cherché.

$$\text{Tel que : } c = \frac{\ell - 0}{t_F - t_{0F}} \leftrightarrow \boxed{t_F = \Delta t_i + \frac{\ell}{c}} \quad \underline{AN} \rightarrow t_F = 50 \cdot 10^{-6} + \frac{0,30}{1,5 \cdot 10^3} \text{ soit } \underline{t_F = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ s.}}$$

Autre raisonnement possible pour trouver t_D et t_F :

- Le détecteur est situé à une distance ℓ du dauphin. Le détecteur percevra donc le signal sinusoïdal associé au clic avec un retard τ' correspondant à la durée nécessaire au clic pour parcourir la distance ℓ à la

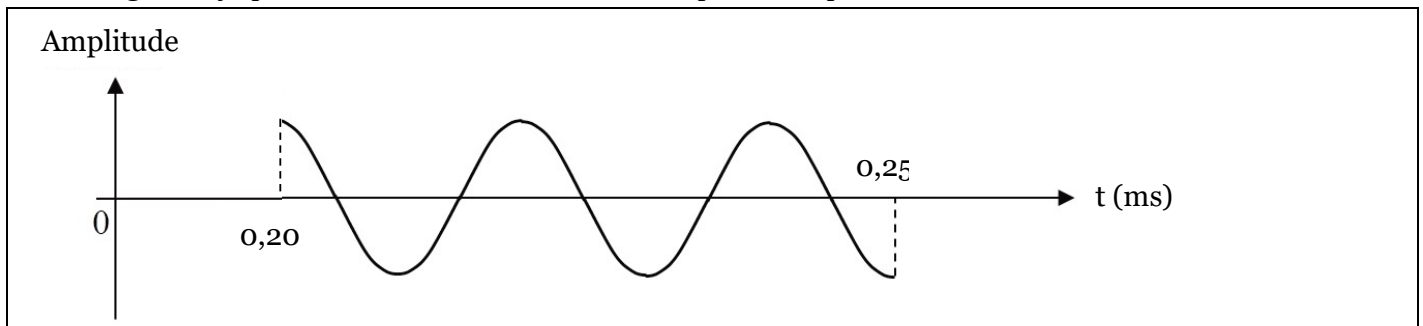
$$\text{célérité } c \text{ telle que : } c = \frac{\ell}{\tau'} \leftrightarrow \boxed{\tau' = \frac{\ell}{c}}. \quad \underline{AN} \rightarrow \tau' = \frac{0,30}{1,5 \cdot 10^3} \text{ soit } \underline{\tau' = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ s.}}$$

- Le clic étant émis à l'instant de date $t_0 = 0$ s par le dauphin et finissant d'être émis par celui-ci à l'instant de date $t_{0F} = \Delta t_i = 50 \mu\text{s}$, le détecteur percevra :

$$\# \text{ le début du clic à l'instant de date } \boxed{t_D = t_0 + \tau'}. \quad \underline{AN} \rightarrow t_D = 0 + 2,0 \cdot 10^{-4}, \text{ soit } \underline{t_D = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ s.}}$$

$$\# \text{ la fin du clic à l'instant de date } \boxed{t_F = \Delta t_i + \tau'}. \quad \underline{AN} \rightarrow t_F = 50 \cdot 10^{-6} + 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ soit } \underline{t_F = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ s.}}$$

Le signal reçu par le détecteur en fonction du temps a donc pour allure :



12. Chaque point du milieu est perturbé pendant une durée Δt_i correspondant à la durée nécessaire au clic pour parcourir sa propre longueur spatiale L à la célérité c . Par définition de la célérité, on a donc :

$$c = \frac{\ell}{\Delta t_i} \leftrightarrow \boxed{L = c \times \Delta t_i} \quad \underline{AN} \rightarrow L = 1,5 \cdot 10^3 \times 50 \cdot 10^{-6} \text{ soit } \underline{L = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 7,5 \text{ cm}}$$

13. • A l'instant $t_0 = 0$, le début du clic est à l'abscisse $x_0 = 0$.

A l'instant $t_1 = 0,20 \text{ ms}$, le début du clic atteint l'abscisse x_D qui est celle recherchée.

Le début du clic aura donc parcouru la distance $x_D - x_0 = x_D$ pendant la durée $t_1 - t_0$ à la célérité c telle

$$\text{que : } c = \frac{x_D - x_0}{t_1 - t_0} \quad \text{soit : } \boxed{x_D = c \times (t_1 - t_0) + x_0}$$

$$\underline{AN} \rightarrow \underline{x_D = 1,5 \cdot 10^3 \times (0,20 \cdot 10^{-3} - 0) + 0} \quad \text{soit } \underline{x_D = 3,0 \cdot 10^{-1} \text{ m} = 30 \text{ cm}}$$

- A l'instant $t_{0F} = \Delta t_i = 50 \mu s$, la fin du clic est à l'abscisse $x_0 = 0$.

A l'instant $t_1 = 0,20 ms$, la fin du clic atteint l'abscisse x_F qui est celle recherchée.

La fin du clic aura donc parcouru la distance $x_F - x_0 = x_F$ pendant la durée $t_1 - t_{0F}$ à la célérité c telle que : $c = \frac{x_F - x_0}{t_1 - t_{0F}}$ soit : $x_F = c \times (t_1 - t_{0F}) + x_0$ ou encore $x_F = c \times (t_1 - \Delta t_i) + x_0$

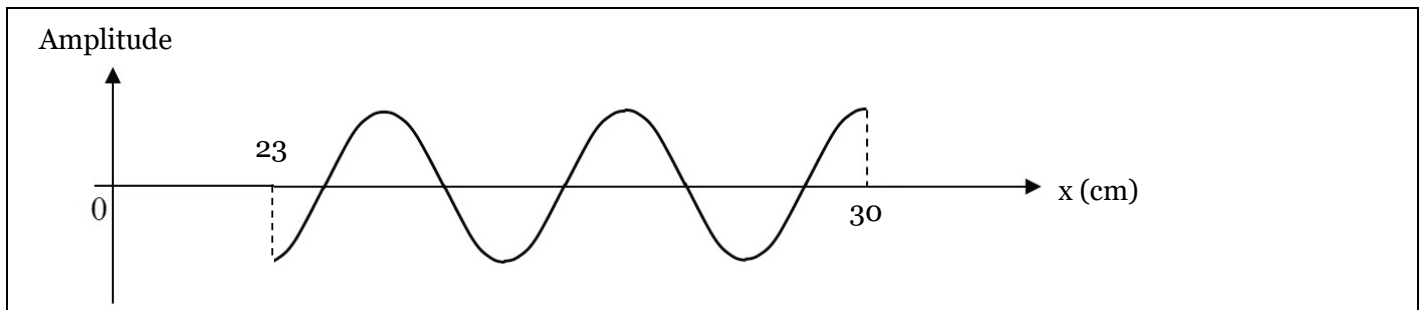
AN $\rightarrow x_F = 1,5 \cdot 10^3 \times (0,20 \cdot 10^{-3} - 50 \cdot 10^{-6}) + 0$ soit **$x_F = 2,3 \cdot 10^{-1} m = 23 cm$**

Autre raisonnement possible pour x_F :

D'après la question 12., la longueur spatiale du clic vaut $L = 7,5 cm$. On en déduit donc que la fin du clic se situe 7,5 cm derrière le début du clic (abscisse x_D), c'est-à-dire à l'abscisse **$x_F = x_D - L$** .

AN $\rightarrow x_F = 3,0 \cdot 10^{-1} - 7,5 \cdot 10^{-2}$ soit **$x_F = 2,3 \cdot 10^{-1} m = 23 cm$**

En se rappelant que **forme spatiale et forme temporelle sont inversées**, on a donc l'allure du clic à l'instant $t_1 = 0,20 ms$ sur la figure ci-dessous.



D – Le biosonar des dauphins : écholocalisation

14. Le sonar est constitué d'un émetteur accolé à un récepteur d'ultrasons. **Il permet de déterminer la distance du sonar à un obstacle en mesurant le temps mis par un signal issu de l'émetteur pour être capté par le détecteur après réflexion sur cet obstacle**, connaissant la célérité du son dans le milieu.

15. La durée d'un clic est de $\Delta t_i = 50 \mu s$ tandis que l'échelle de temps choisie est telle que 1 graduation représente $\Delta t_{graduation} = 20 ms$: ainsi $\Delta t_i < \frac{\Delta t_{graduation}}{100}$, **la durée d'un clic est négligeable**, et les clics sont représentés par des traits verticaux sur cet axe.

16. Sachant que **l'intervalle de temps Δt séparant l'émission d'un clic et la réception** de son écho est inférieure à la durée entre deux clics, on peut lire cette durée sur le document fourni, **entre deux traits verticaux successifs représentant une émission puis une réception** :

$$\Delta t = t_{réception} - t_{émission} = 420 - 220 = 200 ms$$

Pendant cette durée Δt , le signal a donc parcouru deux fois la distance H séparant le dauphin du fond marin (un aller-retour) à la célérité c telle que :

$c = \frac{2H}{\Delta t}$ c'est-à-dire **$H = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$** **AN** $\rightarrow H = \frac{1,5 \cdot 10^3 \times 200 \cdot 10^{-3}}{2}$ soit **$H = 1,5 \cdot 10^2 m$**