DS de Physique-Chimie n°1
Ondes mécaniques progressives (1h30)

Les deux exercices sont indépendants. Les trois parties de l'exercice I sont indépendantes.

# Exercice I – Étude du relief d'un fond marin

**1. Étude de l'onde ultrasonore dans l'eau de mer.**

**1.1.** Définir une onde mécanique progressive.

**1.2.** L'onde ultrasonore est-elle une onde longitudinale ou transversale ?

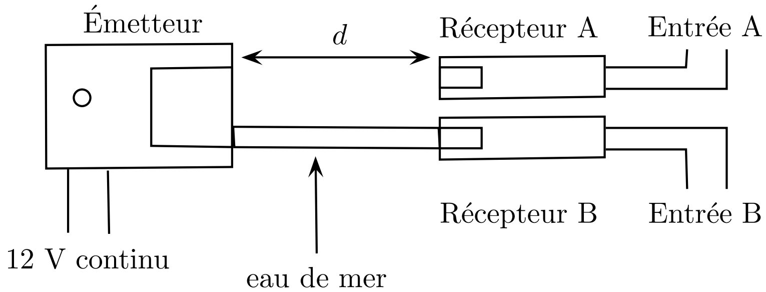
**2. Détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans l'eau.**

*La célérité des ultrasons dans l'air* $v_{\text{air}} = 340\ \text{m.s}^{-1}$ *est plus faible que la célérité des ultrasons dans l'eau de mer* $v_{eau}$.

*Un émetteur produit simultanément des salves d'ondes ultrasonores dans un tube rempli d'eau de mer et dans l'air (voir figure 1). À une distance d de l'émetteur d'ondes ultrasonores, sont placés deux récepteurs, l'un dans l'air et l'autre dans l'eau de mer.*

*Le récepteur A est relié à l'entrée A du système d'acquisition d'un ordinateur et le récepteur B à l'entrée B. L'acquisition commence lorsqu'un signal est reçu sur l'entrée B du système.*

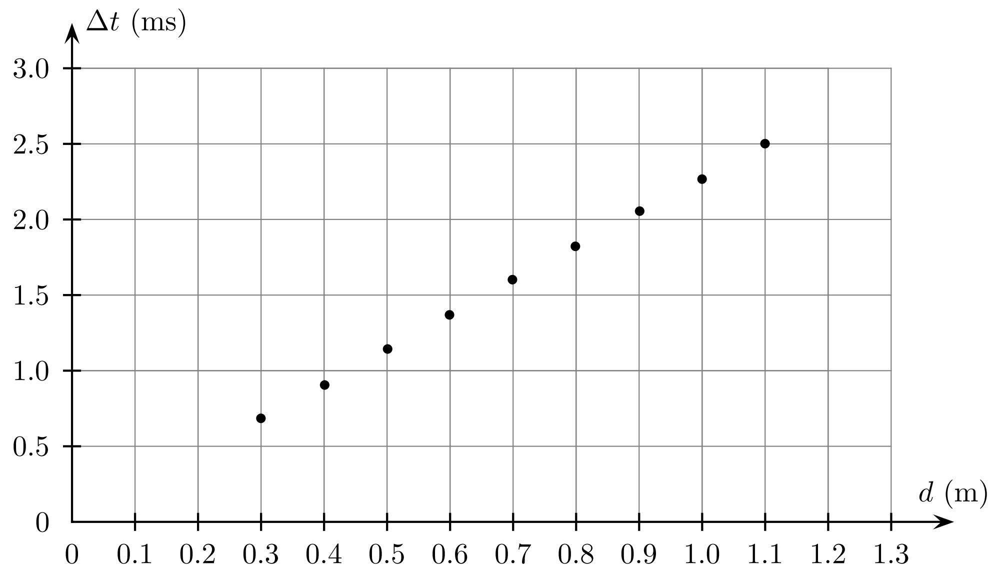
**Figure 1**




**2.1.** Pourquoi est-il nécessaire de déclencher l'acquisition lorsqu'un signal est reçu sur l'entrée B ?

**2.2.** Donner l'expression du retard$\Delta\ t$ entre la réception des ultrasons par les deux récepteurs en fonction de $t_{\text{A}}$ et $t_{\text{B}}$, durées que mettent les ultrasons pour parcourir respectivement la distance $d$ dans l'air et dans l'eau de mer.

**2.3.** On détermine$\Delta\ t$ pour différentes distances $d$ entre l'émetteur et les récepteurs. On traite les données avec un tableur et on obtient le graphe$\Delta\ t = f(d)$ ci-dessous.




$\Delta t = f(d)$

**2.3.1.** Donner l'expression de$\Delta\ t$ en fonction de $d$, $v_{\text{air}}$, $v_{\text{eau}}$.

**2.3.2.** Justifier l'allure de la courbe obtenue.

**2.3.3.** Déterminer graphiquement le cœfficient directeur de la droite$\Delta\ t = f(d)$. En déduire la valeur de la célérité $v_{\text{eau}}$ des ultrasons dans l'eau de mer en prenant $v_{\text{air}} = 340\ \text{m.s}^{-1}$.

**3. Détermination du relief des fonds marins.**

*Dans cette partie on prendra* $v_{\text{eau}} = 1,50{\cdot}10^3\ \text{m.s}^{-1}$.

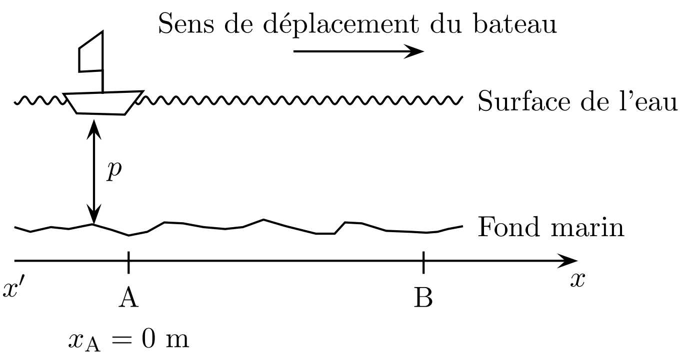
*Un sondeur acoustique classique est composé d'une sonde comportant un émetteur et un récepteur d'onde ultrasonore de fréquence* $f = 200$ kHz *et d'un boîtier de contrôle ayant un écran qui visualise le relief des fonds sous-marins.*

*La sonde envoie des salves d'ultrasons verticalement en direction du fond à des intervalles de temps réguliers ; cette onde ultrasonore se déplace dans l'eau à une vitesse constante* $v_{\text{eau}}$. *Quand elle rencontre un obstacle, une partie de l'onde est réfléchie et renvoyée vers la source. La détermination du retard entre l'émission et la réception du signal permet de calculer la profondeur* $p$.

*Un bateau se déplace en ligne droite suivant un axe* $x'x$ *en explorant le fond depuis le point A* $x_{\text{A}} = 0$ m *jusqu'au point B* $x_{\text{B}} = 50$ m *(figure 2).*

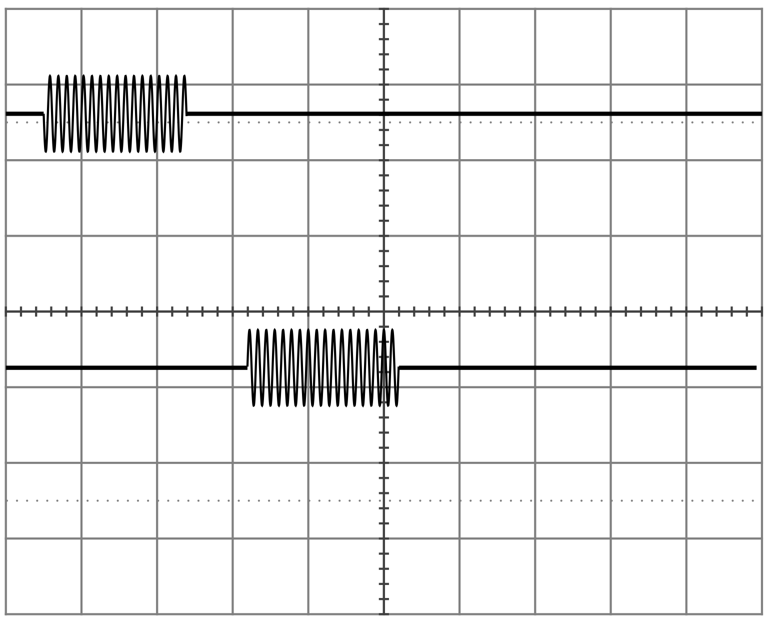
*Le sondeur émet des salves d'ultrasons à intervalles de temps égaux, on mesure à l'aide d'un oscilloscope la durée* $\Delta t$ *séparant l'émission de la salve de la réception de son écho.*

**Figure 2**




**3.1.** L'oscillogramme ci-dessous montre l'écran d'un oscilloscope lorsque le bateau se trouve en A ($x_{\text{A}} = 0$ m). L'une des voies représente le signal émis, l'autre le signal reçu par le récepteur.
Sur l'oscillogramme, on a décalé la voie 2 vers le bas pour distinguer nettement les deux signaux.

**Sensibilité horizontale :**
10 ms/div



La figure 3 se trouvant sur l'annexe représente$\Delta\ t = f(x)$ lorsque le bateau se déplace de A vers B.

**3.1.1.** Identifier les signaux observés sur chaque voie, en justifiant.

**3.1.2.** À partir de l'oscillogramme, déterminer la durée $\Delta t$ entre l'émission de la salve et la réception de son écho.

**3.1.3.** En déduire la graduation de l'axe des ordonnées de la figure 3 se trouvant sur l'annexe représentant la durée$\Delta\ t$ en fonction de la position $x$ du bateau.

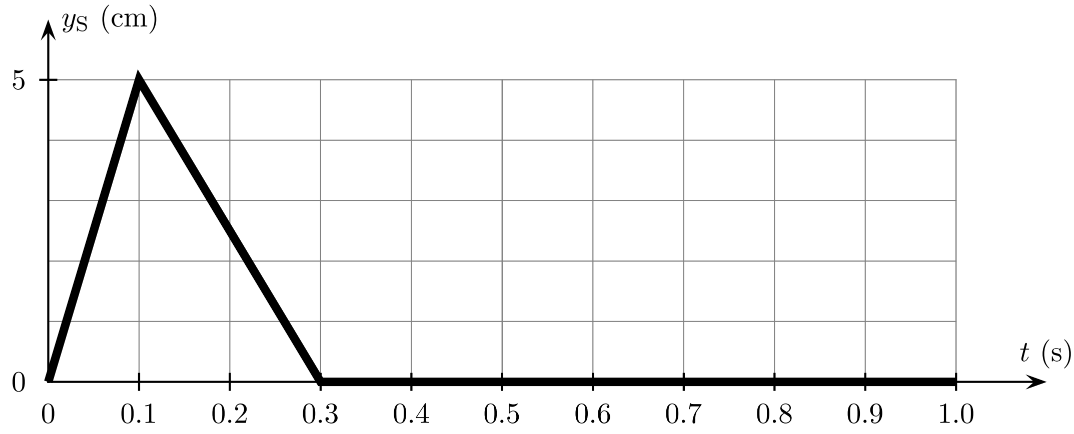
**3.2.** Déterminer la relation permettant de calculer la profondeur $p$ en fonction de$\Delta\ t$ et $v_{\text{eau}}$.

**3.3.** Tracer sur la figure 4 se trouvant sur l'annexe, l'allure du fond marin exploré en précisant la profondeur $p$ en mètres en fonction de la position $x$ du bateau.

## Exercice II – Propagation d'une onde le long d'une corde

Une très longue corde élastique inextensible est disposée horizontalement sur le sol. À la date $t = 0$, un opérateur crée une perturbation en imprimant une brève secousse verticale à l'extrémité S de la corde. La célérité de l'onde mécanique créée vaut $v = 10$ m.s$^{-1}$. La figure 5 ci-dessous reproduit la courbe des variations temporelles de l'altitude $y_S$ du point source.

**Figure 5**




**1. Représentation temporelle**

Un point P est repéré sur la corde à une distance SP = 4, 0 m de l'extrémité.

**a.** Quelle durée sépare l'émission du signal en S et son arrivée en P ?

**b.** Sur la figure 6 de l'annexe, tracer l'allure des variations temporelles de l'altitude $y_P$ de P.

**2. Représentation spatiale**

Le front d'onde à la date $t$ est le point de la corde qui commence à être affecté par la perturbation. La crête est le point de la corde où la perturbation est maximale, et la queue est le point où la perturbation se termine.

**a.** Déterminer à la date $t = 0,50$ s la position du front d'onde, celle de la crête et celle de la queue.

**b.** En déduire l'allure d'une photographie de la corde à cette date, à reproduire sur la figure 7 de l'annexe, dont les échelles et les légendes des axes sont aussi à compléter.

**3. Influence de quelques paramètres sur la célérité de l'onde**

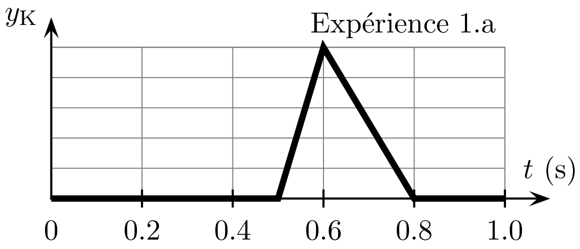
Les courbes ci-après donnent l'évolution au cours du temps du déplacement vertical d'un point K de la corde, situé à la distance fixe $d =$ SK du point source S ; les conditions expérimentales sont précisées pour chaque expérience.

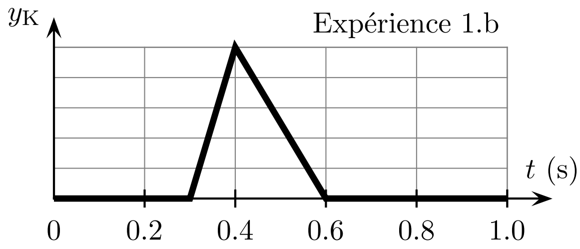
Toutes les réponses doivent être justifiées en utilisant les représentations graphiques.

**3.1.** Influence de la tension de la corde.

Lors de l'expérience 1.a, la tension est plus faible que lors de l'expérience 1.b.

La tension de la corde modifie-t-elle la célérité, et si oui, dans quel sens ?



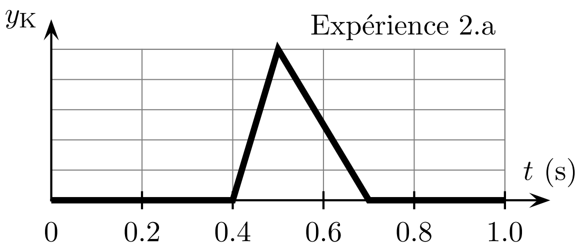

**3.2.** Influence de la masse de la corde.

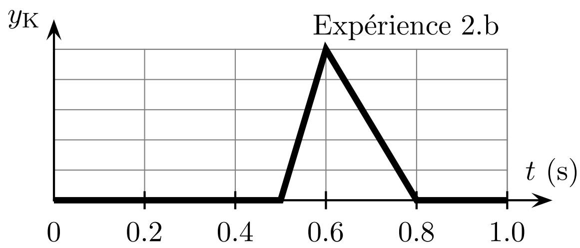
La masse linéïque $\mu$ est la masse par unité de longueur ; pour une corde de masse $M$ et de longueur $L$, on a donc :

$$\mu = \frac{M}{L}$$

La masse linéïque de la corde utilisée pour l'expérience 2.a est plus faible que celle de la corde utilisée pour l'expérience 2.b.

La masse linéïque modifie-t-elle la célérité, et si oui, dans quel sens ?




⋆⋆
⋆

Annexe, à rendre avec la copie

**Nom : .......................Prénom : .......................**

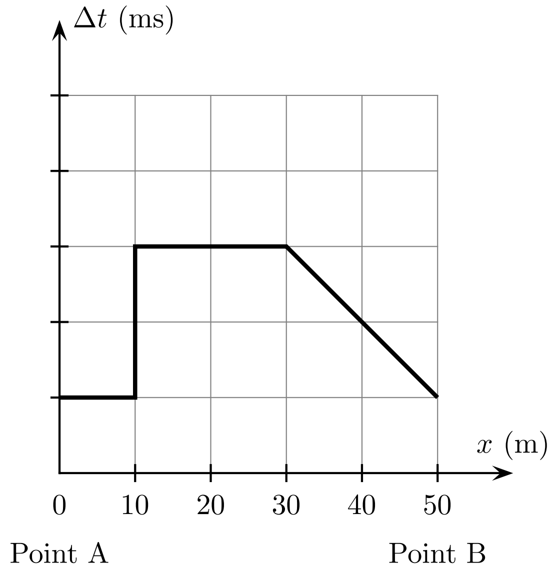



**Figure 3**

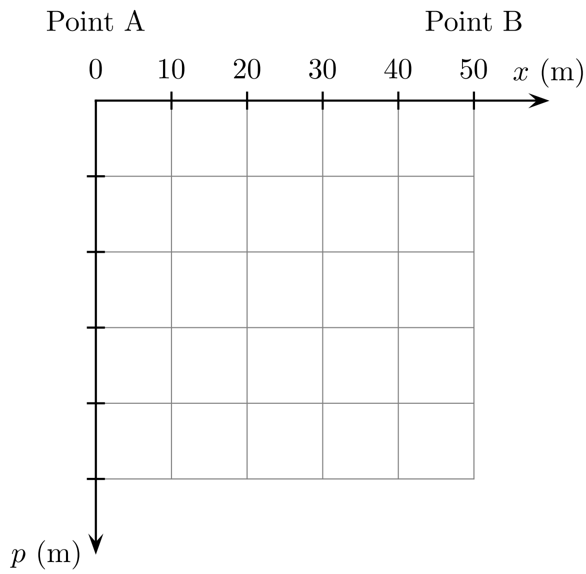



**Figure 4**

**Figure 6**

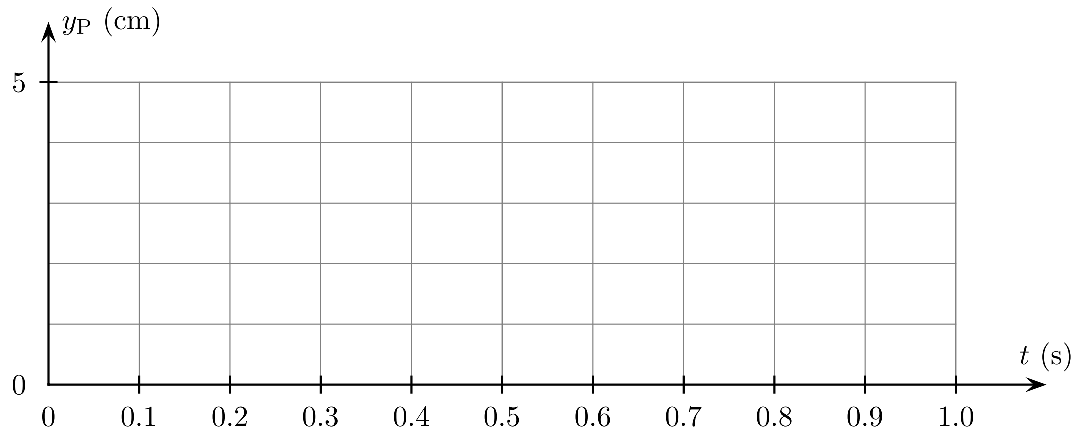
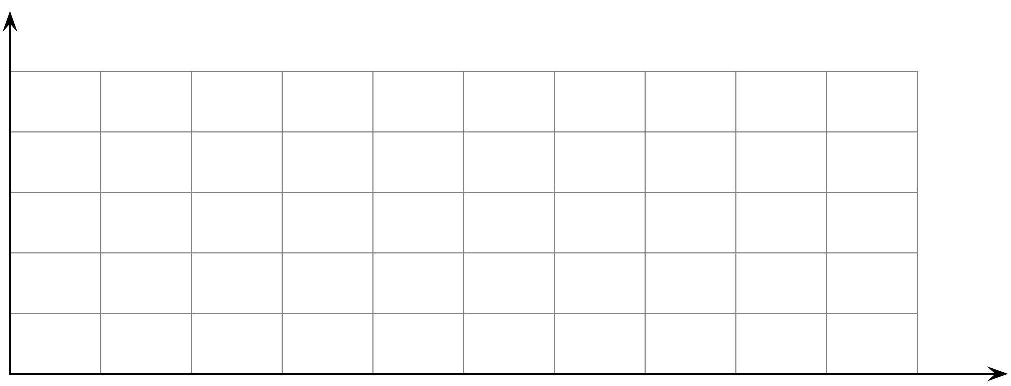



**Figure 7**



# Corrigé du DS n°1 — Ondes mécaniques progressives

## Exercice I – Étude du relief d'un fond marin

**1. Étude d'une onde ultrasonore dans l'eau...**

**1.1.** Une onde mécanique progressive est le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière.

**1.2.** L'onde ultrasonore est une onde longitudinale car la direction de la perturbation est parallèle à la direction de propagation de l'onde.

**2. Détermination de la célérité des ondes...**

**2.1.** La célérité des ondes sonores est plus élevée dans l'eau de mer que dans l'air ; le signal va donc arriver plus rapidement sur le récepteur B, et avec un temps de retard sur le récepteur A. Déclencher l'acquisition lors de la réception d'un signal sur B permet de ne pas « rater » le même signal sur A, et de mesurer le retard entre les deux réceptions.

**2.2.** $\Delta t = t_{\mathrm{A}} - t_{\mathrm{B}}$

**2.3.1.** Expression de$\Delta$ $t$ :

$$v_{\text{air}} = \frac{d}{t_{\mathrm{A}}} \quad \text{et} \quad v_{\text{eau}} = \frac{d}{t_{\text{eau}}}$$

$$\Leftrightarrow \quad t_{\mathrm{A}} = \frac{d}{v_{\text{air}}} \quad \text{et} \quad t_{\mathrm{B}} = \frac{d}{v_{\text{eau}}}$$

$$\Rightarrow \quad \Delta t = t_{\mathrm{A}} - t_{\mathrm{B}} = d\left(\frac{1}{v_{\text{air}}} - \frac{1}{v_{\text{eau}}}\right)$$

**2.3.2.** La relation précédente montre que$\Delta$ $t$ est proportionnel à $d$. Or sur la courbe proposée on peut tracer une droite d'interpolation moyenne passant par l'origine, typique d'une relation affine de proportionnalité entre$\Delta$ $t$ et $d$.

**2.3.3.** On prends un point extrème de la droite d'interpolation moyenne $(3,0;1,3)$, et l'origine $(0\,;\,0)$ ; la pente $a$ de la droite est alors :

$$a = \frac{3,0-0}{1,3-0} = 2,3 \ \text{ms.m}^{-1}$$

c'est-à-dire $a = 2,3{\cdot}10^{-3}$ s.m$^{-1}$.
La relation affine entre$\Delta$ $t$ et $d$ s'écrit :

$$\Delta t = a \cdot d \quad \text{avec} \quad a = \frac{1}{v_{\text{air}}} - \frac{1}{v_{\text{eau}}}$$

$$\Leftrightarrow \quad a = \frac{v_{\text{eau}} - v_{\text{air}}}{v_{\text{air}} v_{\text{eau}}}$$

$$\Leftrightarrow \quad a\, v_{\text{air}} v_{\text{eau}} = v_{\text{eau}} - v_{\text{air}}$$

$$\Leftrightarrow \quad v_{\text{eau}}\,(a\, v_{\text{air}} - 1) = -v_{\text{air}}$$

$$\Leftrightarrow \quad v_{\text{eau}} = \frac{v_{\text{air}}}{1 - a\, v_{\text{air}}}$$

Application numérique :

$$v_{\text{eau}} = \frac{340}{1 - 2,3{\cdot}10^{-3} \times 340} = 1,6{\cdot}10^{3} \ \text{m.s}^{-1}$$

**3. Détermination du relief des fonds marins**

**3.1.1.** La causalité entre les signaux (= le signal reçu l'est uniquement après émission du signal émis) indique que le signal émis est le signal du haut, et le signal reçu, celui du bas, avec la salve retardée d'une durée$\Delta$ $t$.

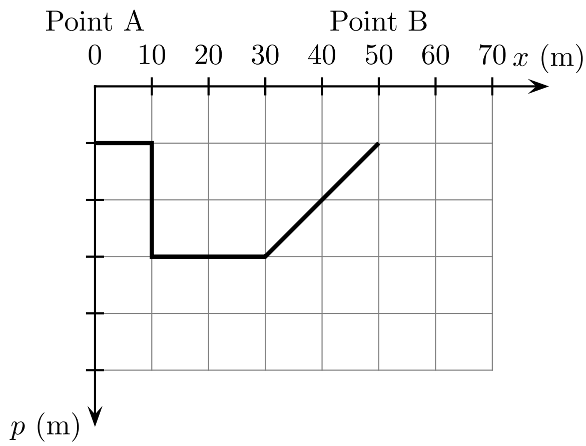
**3.1.2.** $\Delta t = 2,7 \times 10 = 27$ ms $= 2,7{\cdot}10^{-2}$ s.

**3.1.3.** Par lecture graphique sur la figure 3, on constate qu'en $x = 0$ indiqué comme étant le point A, la courbe est à une graduation de hauteur en$\Delta$ $t$. Or on a vu à la question précédente qu'en A, on a $\Delta t = 27$ ms. Donc chaque graduation verticale correspond à 27 ms.

**3.2.** Les ultrasons émis se dirigent vers le fond, ils parcourent la distance $p$ ; puis ils reviennent vers le bateau et parcourent à nouveau la distance $p$. Donc :

$$v_{\text{eau}} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2p}{\Delta t} \quad \Leftrightarrow \quad p = \frac{v_{\text{eau}} \Delta t}{2}$$

**3.3.** On nous laisse sympathiquement l'échelle des ordonnées vierge ; on va donc décider qu'un écho de $\Delta t = 27$ ms correspond à une distance d'une graduation sur l'axe des profondeurs. La courbe de la figure 4 est symétrique de celle de la figure 3, voir ci-dessous.




L'énoncé ne demande pas explicitement d'indiquer les graduations de l'ordonnée ; avec la relation trouvée dans la question précédente, on peut calculer qu'une graduation doit correspondre à :

$$p = \frac{1,50{\cdot}10^{3} \times 27{\cdot}10^{-3}}{2} = 20 \ \text{m}$$

et ainsi graduer l'axe de 20 mètres en 20 mètres.

# Exercice II – Propagation d'une onde le long d'une corde

**1. Représentation temporelle**

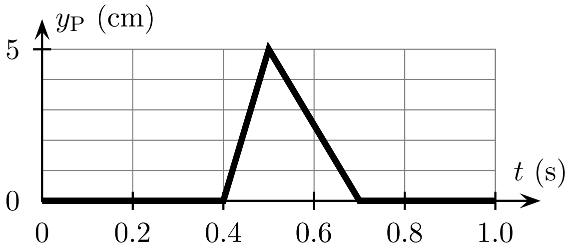
**a.** La durée $\tau$ s'exprime par :

$$v = \frac{\text{SP}}{\tau} \quad \Leftrightarrow \quad \tau = \frac{\text{SP}}{v}$$

Application numérique :

$$\tau = \frac{4,0}{10} = 0,40 \text{ s}$$

**b.** Figure 6 : allure des variation temporelles de P :




**2. Représentation spatiale**

**a.** Le front d'onde est émis en premier au niveau de la source S, dès $t_0 = 0$ ; pendant la durée $\tau_F = t - t_0 = 0,50 - 0 = 0,50$ s, il parcourt la distance :

$$v = \frac{\text{SF}}{\tau_F} \quad \Leftrightarrow \quad \text{SF} = v\tau_F$$

Numériquement : SF $= 10 \times 0,50 = 5,0$ m.
La crête est émise en $t_1 = 0,10$ s au niveau de la source S ; pendant la durée $\tau_C = t - t_1 = 0,50 - 0,10 = 0,40$ s, elle parcourt la distance :

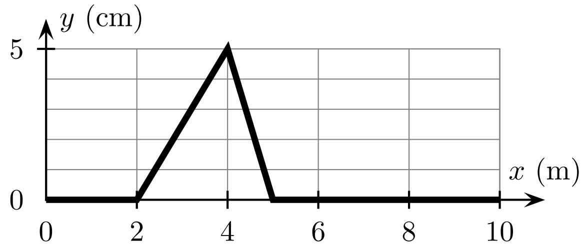
$$v = \frac{\text{SC}}{\tau_C} \quad \Leftrightarrow \quad \text{SC} = v\tau_C$$

Numériquement : SC $= 10 \times 0,40 = 4,0$ m.
La queue est émise en dernier au niveau de la source S, jusqu'à $t_2 = 0,30$ s ; pendant la durée $\tau_Q = t - t_2 = 0,30 - 0 = 0,20$ s, elle parcourt la distance :

$$v = \frac{\text{SQ}}{\tau_Q} \quad \Leftrightarrow \quad \text{SQ} = v\tau_Q$$

Numériquement : SQ $= 10 \times 0,20 = 2,0$ m.

**b.** Figure 7 : allure des variations spatiales de la corde :




**3. Influence de quelques paramètres...**

**a.** On constate graphiquement que :
- le front de l'onde de l'expérience 1.a arrive au point K à l'instant de date $t_{1a} = 0,5$ s ;
- le front de l'onde de l'expérience 1.b arrive au point K à l'instant de date $t_{1b} = 0,3$ s.

L'onde atteint donc le point K plus rapidement dans l'expérience 1.b que dans l'expérience 1.a. Ainsi, la célérité de l'onde est plus grande dans l'expérience 1.b que dans l'expérience 1.a.

Donc la tension de la corde modifie la célérité de l'onde : plus la tension de la corde est grande, plus la célérité de l'onde est grande.

**b.** On constate graphiquement que :
- le front de l'onde de l'expérience 2.a arrive au point K à l'instant de date $t_{1a} = 0,4$ s ;
- le front de l'onde de l'expérience 2.b arrive au point K à l'instant de date $t_{1b} = 0,5$ s.

L'onde atteint donc le point K plus rapidement dans l'expérience 2.a que dans l'expérience 2.b. Ainsi, la célérité de l'onde est plus grande dans l'expérience 2.a que dans l'expérience 2.b.

Donc la masse linéïque de la corde modifie la célérité de l'onde : plus la masse linéïque est grande, plus la célérité de l'onde est petite.

⋆⋆
⋆

# Grille DS n°1

**Exercice I – Fond marin** **.../30**

- ❑ Onde
- ❑ Mécanique
- ❑ Progressive
- ❑ Longitudinale
- ❑ Explication longitudinale
- ❑ $v_{\text{eau}} > v_{\text{air}} \quad \Rightarrow \quad t_{\text{A}} > t_{\text{B}}$ ou équivalent
- ❑ Déclench$^{\text{mt}}$ sur B pour ne pas « rater » A
- ❑ $\Delta t = t_{\text{A}} - t_{\text{B}}$ (dans ce sens sinon négatif)
- ❑ $v_{\text{air}} = d/t_{\text{A}}$
- ❑ $v_{\text{eau}} = d/t_{\text{B}}$
- ❑ $\Delta t = d\,(1/v_{\text{air}} - 1/v_{\text{eau}})$, démontrée
- ❑ $\Delta t \propto d$ d'après la formule ci-dessus
- ❑ Droite linéaire = passe par zéro
- ❑ Implique une relation linéaire entre$\Delta\ t$ et $d$
- ❑ Calcul de pente à partir de points extrèmes
- ❑ $a \simeq 2,3$ s.m$^{-1}$ (1/2 pour l'unité)
- ❑ $a \simeq 2,3$ s.m$^{-1}$ (1/2 pour l'unité)
- ❑ $\Delta t = a \cdot d$ ou explication équivalente
- ❑ $a = 1/v_{\text{air}} - 1/v_{\text{eau}}$
- ❑ $v_{\text{eau}} = v_{\text{air}}/1 - a\,v_{\text{air}}$, démontrée
- ❑ $v_{\text{eau}} \simeq 1,5{\cdot}10^3$ m.s$^{-1}$
- ❑ $v_{\text{eau}} \simeq 1,5{\cdot}10^3$ m.s$^{-1}$
- ❑ Émis en haut, reçu en bas, car en retard
- ❑ Mesure$\Delta\ t \simeq 27$ ms (1/2 si 26 ms)
- ❑ On connaît$\Delta\ t$ en A ou explication équivalente
- ❑ Implique graduation tous les 27 ms
- ❑ $v_{\text{eau}} = 2p/\Delta t$ ou explication aller-retour de l'écho
- ❑ $p = v_{\text{eau}}\Delta t/2$
- ❑ Courbe du fond symétrique
- ❑ Explication ordonnées figure 4
- ❑ Bonus : calcul $p = 20$ m
- ❑ Bonus : graduation correcte ordonnées figure 4

**Exercice II – Corde** **.../15**

- ❑ $\tau = \text{SP}/v$
- ❑ $\tau = 0,40$ s
- ❑ Courbe annexe figure 6 à 0,4 s
- ❑ $\tau_{\text{F}} = 0,50$ s + $\text{SF} = v\tau_{\text{F}}$
- ❑ $\tau_{\text{C}} = 0,40$ s + $\text{SC} = v\tau_{\text{C}}$
- ❑ $\tau_{\text{Q}} = 0,20$ s + $\text{SQ} = v\tau_{\text{Q}}$
- ❑ $\text{SF} = 5,0$ m
- ❑ $\text{SC} = 4,0$ m
- ❑ $\text{SF} = 2,0$ m
- ❑ Courbe annexe figure 7 inversée à 2 m
- ❑ Courbe annexe figure 7 inversée à 2 m
- ❑ Front $t_{1\text{b}} = 0,3$ s plus rapide que le $t_{1\text{a}} = 0,5$ s
- ❑ Donc tension + grande = célérité + élevée
- ❑ Front $t_{2\text{a}} = 0,4$ s plus rapide que le $t_{2\text{b}} = 0,5$ s
- ❑ Donc masse + grande = célérité + faible

Points .../35

**Note** **.../20**


# Grille DS n°1

**Exercice I – Fond marin** **.../30**

- ❑ Onde
- ❑ Mécanique
- ❑ Progressive
- ❑ Longitudinale
- ❑ Explication longitudinale
- ❑ $v_{\text{eau}} > v_{\text{air}} \quad \Rightarrow \quad t_{\text{A}} > t_{\text{B}}$ ou équivalent
- ❑ Déclench$^{\text{mt}}$ sur B pour ne pas « rater » A
- ❑ $\Delta t = t_{\text{A}} - t_{\text{B}}$ (dans ce sens sinon négatif)
- ❑ $v_{\text{air}} = d/t_{\text{A}}$
- ❑ $v_{\text{eau}} = d/t_{\text{B}}$
- ❑ $\Delta t = d\,(1/v_{\text{air}} - 1/v_{\text{eau}})$, démontrée
- ❑ $\Delta t \propto d$ d'après la formule ci-dessus
- ❑ Droite linéaire = passe par zéro
- ❑ Implique une relation linéaire entre$\Delta\ t$ et $d$
- ❑ Calcul de pente à partir de points extrèmes
- ❑ $a \simeq 2,3$ s.m$^{-1}$ (1/2 pour l'unité)
- ❑ $a \simeq 2,3$ s.m$^{-1}$ (1/2 pour l'unité)
- ❑ $\Delta t = a \cdot d$ ou explication équivalente
- ❑ $a = 1/v_{\text{air}} - 1/v_{\text{eau}}$
- ❑ $v_{\text{eau}} = v_{\text{air}}/1 - a\,v_{\text{air}}$, démontrée
- ❑ $v_{\text{eau}} \simeq 1,5{\cdot}10^3$ m.s$^{-1}$
- ❑ $v_{\text{eau}} \simeq 1,5{\cdot}10^3$ m.s$^{-1}$
- ❑ Émis en haut, reçu en bas, car en retard
- ❑ Mesure$\Delta\ t \simeq 27$ ms (1/2 si 26 ms)
- ❑ On connaît$\Delta\ t$ en A ou explication équivalente
- ❑ Implique graduation tous les 27 ms
- ❑ $v_{\text{eau}} = 2p/\Delta t$ ou explication aller-retour de l'écho
- ❑ $p = v_{\text{eau}}\Delta t/2$
- ❑ Courbe du fond symétrique
- ❑ Explication ordonnées figure 4
- ❑ Bonus : calcul $p = 20$ m
- ❑ Bonus : graduation correcte ordonnées figure 4

**Exercice II – Corde** **.../15**

- ❑ $\tau = \text{SP}/v$
- ❑ $\tau = 0,40$ s
- ❑ Courbe annexe figure 6 à 0,4 s
- ❑ $\tau_{\text{F}} = 0,50$ s + $\text{SF} = v\tau_{\text{F}}$
- ❑ $\tau_{\text{C}} = 0,40$ s + $\text{SC} = v\tau_{\text{C}}$
- ❑ $\tau_{\text{Q}} = 0,20$ s + $\text{SQ} = v\tau_{\text{Q}}$
- ❑ $\text{SF} = 5,0$ m
- ❑ $\text{SC} = 4,0$ m
- ❑ $\text{SF} = 2,0$ m
- ❑ Courbe annexe figure 7 inversée à 2 m
- ❑ Courbe annexe figure 7 inversée à 2 m
- ❑ Front $t_{1\text{b}} = 0,3$ s plus rapide que le $t_{1\text{a}} = 0,5$ s
- ❑ Donc tension + grande = célérité + élevée
- ❑ Front $t_{2\text{a}} = 0,4$ s plus rapide que le $t_{2\text{b}} = 0,5$ s
- ❑ Donc masse + grande = célérité + faible

Points .../35

**Note** **.../20**