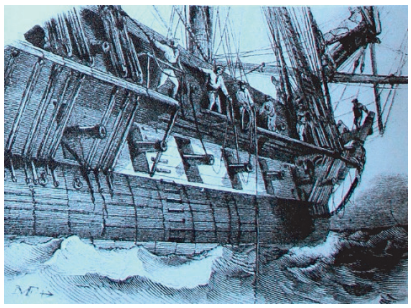
# EXERCICE II - MESURER LA PROFONDEUR DE L'EAU (11 points)

La connaissance du relief du fond des eaux est indispensable dans des domaines variés : géologie, navigation, pêche, activité pétrolière, pose de câbles sous-marins, etc. Cet exercice s'intéresse à trois méthodes employées pour cartographier le fond des océans.



*Sondage à main sur une frégate, gravure de L. MOREL-FATIO, 1844*
*Histoire de la Marine française illustrée*

## 1. Sondage à main

Le sondage à main est réalisé par un marin sur un bateau. Un lest* est attaché à l'extrémité d'une corde graduée ; il est ensuite jeté par-dessus bord. La mesure de la profondeur de l'eau est obtenue en estimant la longueur de la corde lorsque le marin sent que le lest touche le fond de l'eau.
** lest : objet massif servant à alourdir un système.*

Pour illustrer le principe du sondage à main, une expérience, schématisée sur la figure 1, est réalisée au laboratoire.

Un lest de masse $m = 100$ g est attaché à une corde peu extensible de longueur $L_1$ et de masse négligeable. Un capteur mesure la valeur de la tension $\vec{T}$ qu'exerce la corde sur le lest. Lorsque la corde n'est pas tendue, la tension est nulle.
Une série de mesures avec des cordes de plus en plus longues est réalisée. Pour une longueur donnée, la mesure est effectuée quand le lest est immobile. Pour les premières mesures, le lest est hors de l'eau.

L'étude est conduite dans le référentiel du laboratoire, supposé galiléen. Les actions exercées par l'air sont négligées.

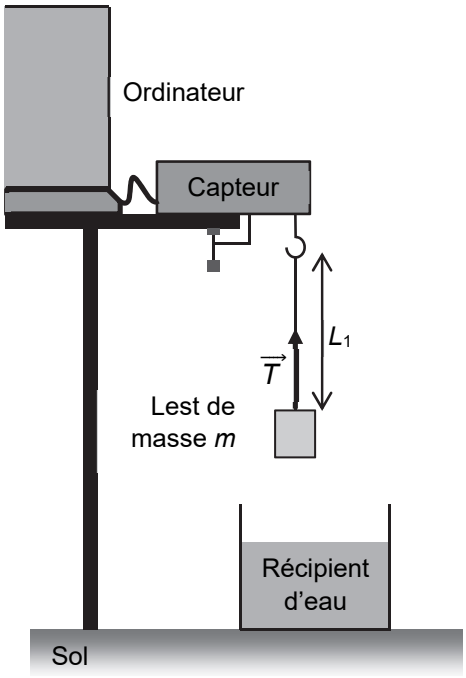



Figure 1. Schéma du dispositif expérimental

Les résultats de l'expérience complète (lest en dehors de l'eau puis dans l'eau) sont reproduits sur la figure 2 ci-après. Les coordonnées de quelques points (longueur de la corde en cm ; tension de la corde en mN) sont données entre parenthèses.

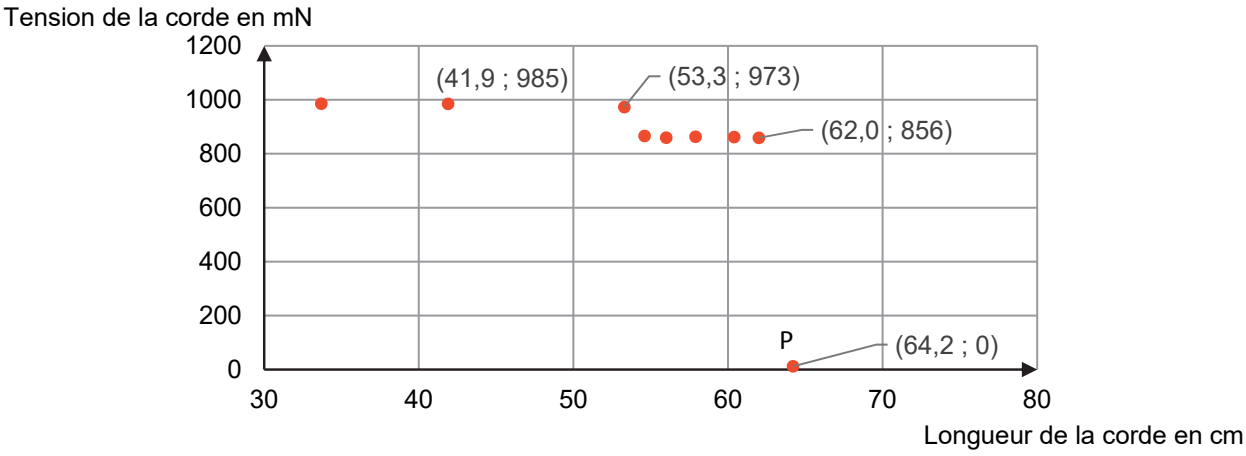



Figure 2. Représentation graphique de la valeur de la tension de la corde en fonction de sa longueur

**Données :**

- intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9{,}81\ \text{m·s}^{-2}$ ;
- tout corps immergé dans un fluide subit de la part du fluide une action modélisée par une force $\overrightarrow{F_A}$ verticale, dirigée vers le haut et appelée poussée d'Archimède.
  L'expression de sa norme est donnée par la relation : $F_A = \rho_{fluide} \times V_{immergé} \times g$ où $V_{immergé}$ est le volume de la partie du corps immergé et $\rho_{fluide}$ est la masse volumique du fluide ;
- masse du lest : $m = 100$ g ;
- masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1{,}00 \times 10^3\ \text{kg·m}^{-3}$ ;
- masse volumique du plomb : $\rho_{plomb} = 1{,}14 \times 10^4\ \text{kg·m}^{-3}$.

**1.1.** Étude du système en dehors de l'eau

On considère la situation de la figure 1 dans laquelle le lest n'est pas encore plongé dans l'eau, la corde est tendue.

**1.1.1.** Effectuer le bilan des forces extérieures qui s'exercent sur le lest.

**1.1.2.** À l'aide d'une des lois de Newton, déterminer la valeur de la norme de la tension de la corde. Indiquer si la valeur mesurée par le capteur lors de cette première mesure est cohérente avec ce résultat.

**1.1.3.** Exploiter les résultats expérimentaux de la figure 2 pour estimer la valeur de la longueur de la corde pour laquelle le lest touche la surface de l'eau.

**1.2.** Étude du système dans l'eau

On étudie désormais la situation pour laquelle le lest est intégralement placé sous la surface de l'eau sans reposer sur le fond.

**1.2.1.** Indiquer à quelle nouvelle force le lest est maintenant soumis.

**1.2.2.** Exploiter les résultats expérimentaux de la figure 2 pour déterminer la valeur de cette nouvelle force. Déterminer la valeur du volume du lest et en déduire si le lest est entièrement constitué de plomb ou non.
*Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite donc d'être correctement présentée.*

**1.2.3.** Quelle est la situation représentée par le point P présent sur la figure 2 ? Justifier.

**1.2.4.** Estimer la valeur de la profondeur $h$ de l'eau.

**2. Sondage avec un sonar**

Pour sonder le fond marin, on utilise un sonar composé d'un émetteur à ultrasons E, situé à égale distance de deux récepteurs $R_1$ et $R_2$. Ce sonar est incliné d'un angle α par rapport à la verticale (voir figure 3).
L'émetteur émet des salves ultrasonores qui se propagent vers le fond marin qui les renvoie dans toutes les directions.
Les récepteurs $R_1$ et $R_2$ du sonar reçoivent les signaux issus du fond marin. Les ondes ultrasonores diffusées par les points A, B et C sont reçues par les récepteurs $R_1$ et $R_2$ à des dates différentes. On cherche à comprendre comment le sonar distingue les signaux issus du point B, qui est à égale distance des récepteurs $R_1$ et $R_2$, des signaux issus d'autres positions du fond marin (voir figure 4).

**Donnée :**

- valeur supposée constante de la célérité des ondes ultrasonores dans l'eau : $v = 1{,}53\ \text{km·s}^{-1}$.

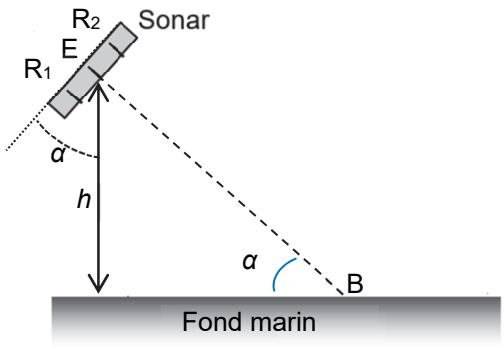



Figure 3. Géométrie du dispositif

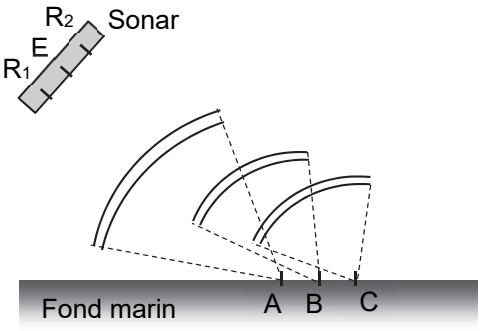
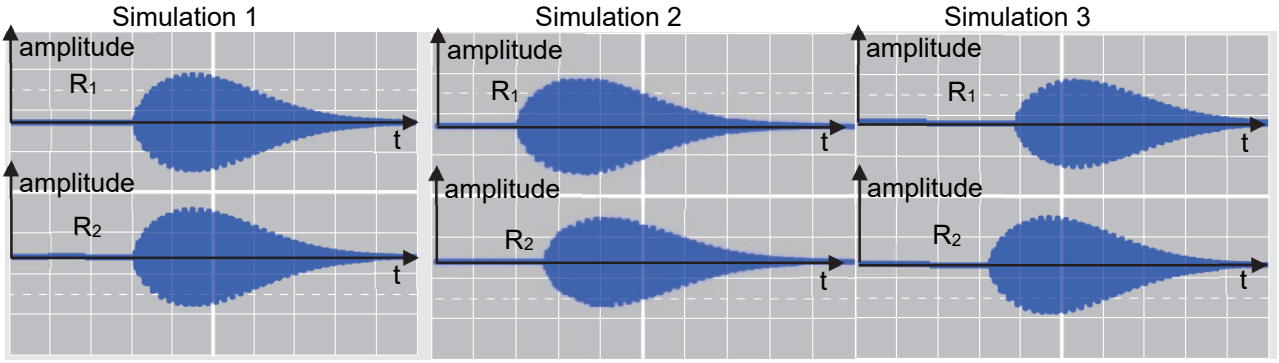



Figure 4. Propagation des échos vers le sonar

On représente ci-dessous, sans aucun souci d'échelle, la simulation des signaux reçus au cours du temps par les récepteurs $R_1$ et $R_2$.




**2.1.** Associer une simulation à chacun des points A, B et C du fond marin. Justifier.

Le sonar mesure avec précision la valeur de la durée qui sépare l'émission des ultrasons et la réception des échos issus du point B : $\Delta t_S$ = 27,7 ms. Le sonar est incliné par rapport à la verticale de l'angle $\alpha$ = 30°.

**2.2.** En déduire la valeur de la profondeur $h$ du fond de l'eau sous le sonar. Les distances EB, $R_1B$ et $R_2B$ sont considérées comme étant égales.

**3. Sondage avec LIDAR (LIght Detection And Ranging)**

Un LIDAR est un appareil qui fonctionne sur le même principe que les sonars en employant des ondes électromagnétiques. Une brève onde électromagnétique est émise par le LIDAR en direction d'un obstacle et l'appareil mesure la durée $\Delta t$ au bout de laquelle l'écho lui revient.
Un LIDAR est placé dans un avion qui survole une zone à étudier, il émet des signaux électromagnétiques, une partie de ces signaux est réfléchie par la surface de l'eau, une autre partie est réfléchie par le fond marin.

La valeur de la célérité $c$, dans le vide, des ondes électromagnétiques est supposée connue des candidats.

**3.1.** Étude des ondes électromagnétiques employées
Le LIDAR est équipé d'un LASER qui émet des ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde dans le vide est $\lambda$ = 1,064 µm.

**3.1.1.** Dans quel domaine du spectre électromagnétique ces ondes sont-elles situées ? Justifier.

Tous les rayonnements ne se propagent pas de manière équivalente dans l'eau. L'« absorption par cm d'eau » d'une onde électromagnétique indique la proportion de l'intensité lumineuse absorbée par centimètre parcouru dans l'eau par l'onde électromagnétique (figure 5).

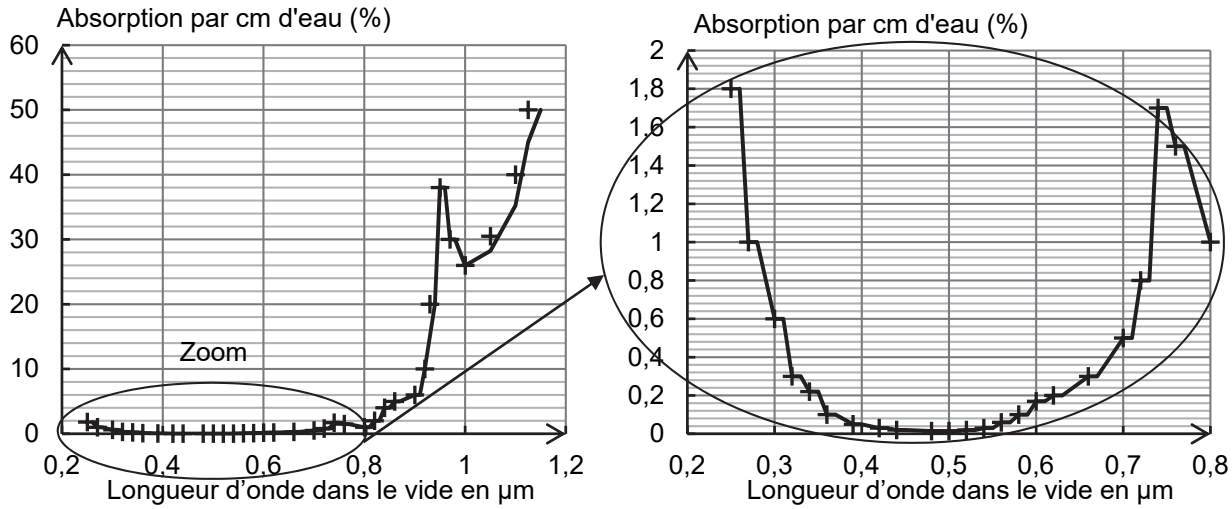



Figure 5. Absorption par cm d'eau en fonction de la longueur d'onde dans le vide
*d'après les travaux de F. Sogandares, E. Fry et R. Pope, Optics*

**3.1.2.** Déterminer si le rayonnement électromagnétique produit par le LASER est approprié pour détecter le fond marin. Justifier.

**3.1.3.** Des dispositifs permettent soit de doubler soit de tripler la fréquence des ondes électromagnétiques. Déterminer s'il est plus approprié de doubler ou de tripler la fréquence du rayonnement émis par le LASER pour détecter le fond marin. Justifier.

**3.2.** Exploitation des données recueillies par le LIDAR

Pour le domaine de longueur d'onde utilisé par le LIDAR, la célérité d'une onde électromagnétique dans l'eau à une température de 20 °C vaut $2{,}26\times10^{8}$ m·s$^{-1}$.

Au cours d'un vol au-dessus de l'eau, le capteur LIDAR placé dans l'avion émet un signal dont il capte deux échos après des durées $\Delta t_1$ = 2,67 µs et $\Delta t_2$ = 3,04 µs.
Déterminer les valeurs de la hauteur de vol de l'avion au-dessus de l'eau et de la profondeur de l'eau survolée.
*Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite donc d'être correctement présentée.*