Exercice III. Communications sous-marine (5 points)

Les sonars actifs sont aujourd'hui très utilisés dans différents domaines : militaire (détection de sous-marins, mines…), pêche (détection de banc de poissons), navigation, hydrographie (cartographie des fonds sous-marins).
Les sonars utilisent des ondes sonores dont l'étude en milieu aquatique est appelée acoustique sous-marine.

1. Les débuts de l'acoustique sous-marine

Une étape importante de l'évolution acoustique sous-marine fut la détermination de la vitesse des ondes sonores dans l'eau du lac Léman par le suisse Daniel Colladon et le français Charles Sturm.

- En 1825, les premières mesures sont effectuées selon le protocole suivant.

Un premier expérimentateur produit un son dans l'eau. Dans le même temps, il lance une fusée. Dans un second bateau situé à environ 1000 m du premier, un deuxième expérimentateur plonge sa tête dans l'eau et indique par un signe du bras la réception du bruit à un troisième observateur en charge du chronomètre. Le chronomètre indique les quarts de seconde. Les valeurs de vitesse du son dans l'eau calculée à partir de cette expérience étaient trop approximatives.

- En 1826, le protocole a été amélioré pour aboutir au système décrit dans le document ci-dessous.



Figure 1 : bateau émetteur

À l'instant où la cloche est frappée un ingénieux dispositif enflamme une poudre formant un signal lumineux observable par le second expérimentateur présent dans le bateau récepteur.



Figure 2 : bateau récepteur

Le son de la cloche est perçu par l'expérimentateur grâce à un long tube cylindrique à l'extrémité duquel il applique son oreille. La mesure de durée est effectuée avec le même chronomètre que l'expérience de 1825.

1.1. Lors de l'expérience de 1825, pourquoi le premier expérimentateur lance-t-il une fusée ?

1.2. Dans cette expérience, identifier au moins deux sources d'erreurs sur la valeur de la mesure de la vitesse du son.

1.3. Quelles améliorations apportées dans le deuxième protocole ont permis de réduire l'incertitude ?

La deuxième expérience, en 1826, a été réalisée sur le lac Léman entre la ville de Rolle et celle de Thonon. On a reproduit ci-dessous une partie de l'analyse de l'expérience faite par Colladon et Sturm.

« Le château de Rolle est situé sur le bord même du lac ; quant au clocher de Thonon sa projection est éloignée du bord de 353 m ce qui donne 13 887 m pour la distance des deux rives. En retranchant 400 m pour la distance des deux bateaux aux deux rives, on a 13 487 m pour la distance de deux stations (*). Ce nombre peut être gardé comme exact à moins de 20 m près.

Si nous évaluons à moins d'un quart de seconde la petite erreur (**) […] nous pouvons adopter 9,4 s pour le temps que le son mettait réellement à venir d'une station à l'autre. »

Extrait des mémoires de l'Académie des Sciences. Mémoire sur la compression des liquides et la vitesse du son dans l'eau. Colladon et Sturm 1827

(*) bateaux
(**) incertitude sur la mesure de la durée de propagation

1.4. L'incertitude relative sur la valeur de la vitesse v s'écrit : $\frac{U(v)}{v} = \sqrt{\left(\frac{U(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{U(\Delta t)}{\Delta t}\right)^2}$.

Donner un encadrement de la valeur de la vitesse du son dans l'eau.

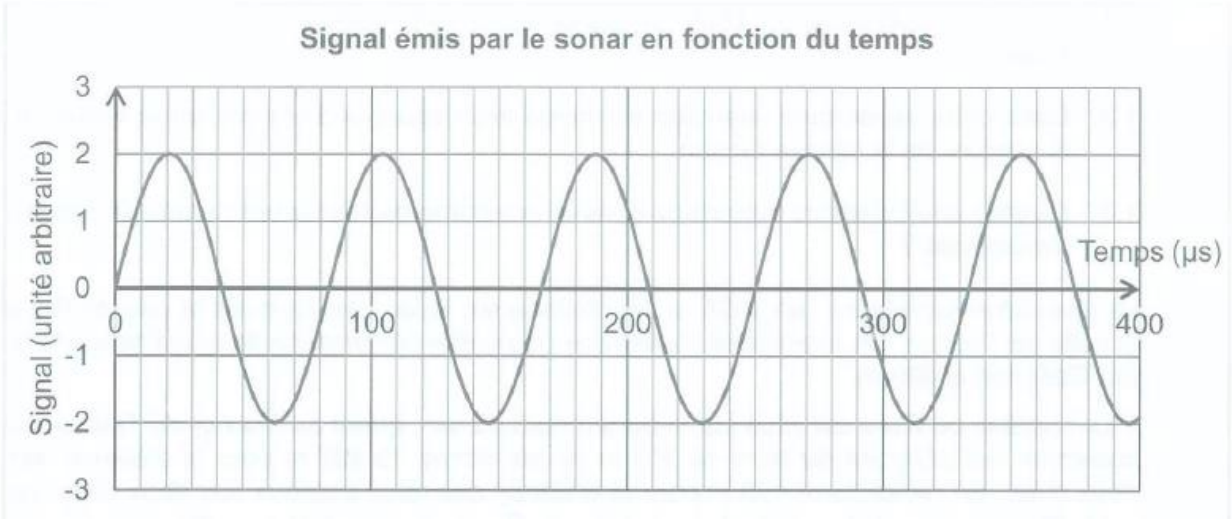
1.5. Dans une note de bas de page Jean-Daniel Colladon signale que « *l'erreur possible dans cette expérience ne peut pas s'élever au-dessus de 1/60e de la valeur véritable* ».
Cette affirmation est-elle cohérente avec le résultat obtenu question 1.4 ? Justifier la réponse.

2. Impact de l'utilisation des sonars sur la faune sous-marine

Les signaux émis par ces sonars peuvent perturber la faune.

Par exemple, en 2008, un échouage de dauphins a créé une polémique entre une grande partie de la communauté scientifique et les experts qui ont analysé cet échouage. Les experts ont en effet mis en cause pour la première fois un navire d'une compagnie pétrolière utilisant des fréquences élevées ; ce navire faisait des relevés topographiques à 65 km du lieu d'échouage.
À 1 m de l'émetteur d'un sonar, le niveau d'intensité sonore maximal peut atteindre 240 dB.

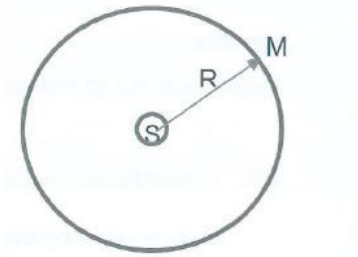
On modélise le signal émis par un sonar par une fonction sinusoïdale du temps (voir graphique ci-après).



2.1. À l'aide de l'enregistrement ci-dessus du signal émis par le sonar, vérifier que la fréquence d'émission *f* vaut 12 kHz.

2.2. Ce signal appartient-il au domaine audible des êtres humains ?

2.3. Phénomènes d'atténuation des ondes sonores.



L'intensité sonore *I* reçue en un point M, situé à une distance *R* de la source acoustique *S*, est liée à la puissance acoustique *P* de la source par la relation : $I = \dfrac{P}{4\pi.R^2}$

2.3.a. On considère généralement que dans l'eau le seuil d'audibilité est $I_0 = 7{,}00\times10^{-17}$ W.m^{-2}. En déduire la valeur de l'intensité sonore maximale à 1 m du sonar.

2.3.b. Montrer que la puissance de la source vaut $8{,}80\times10^{8}$ W.

2.3.c. En déduire que le niveau d'intensité sonore à 65 km du sonar vaut 144 dB.

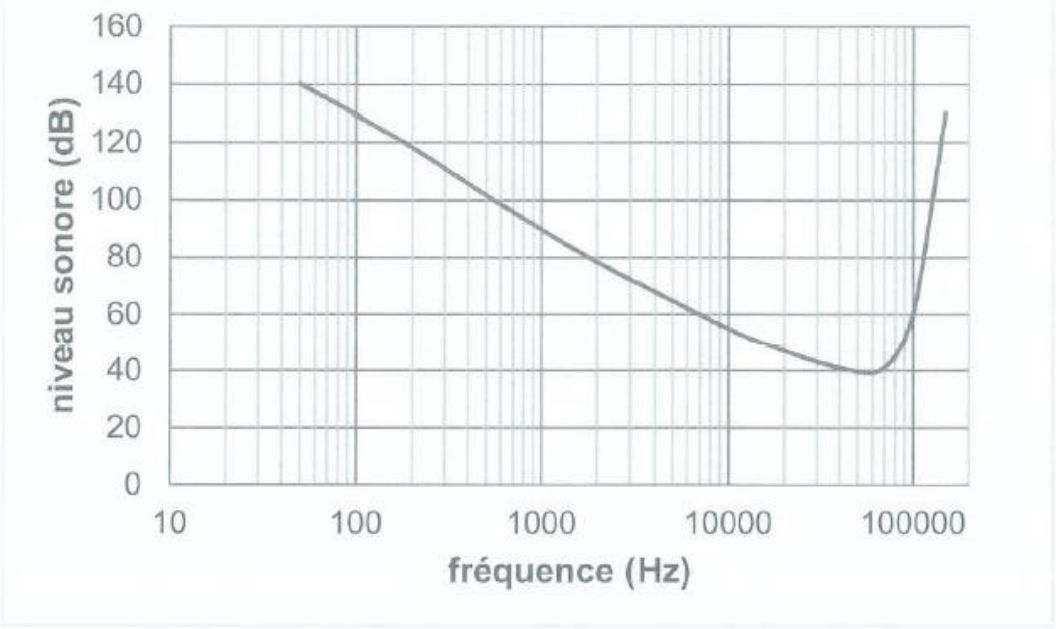
Le milieu de propagation absorbe une partie de l'énergie de l'onde sonore. Il en résulte que le niveau d'intensité sonore mesuré en un point subit une perte supplémentaire en décibel égale à αR où α est un coefficient d'absorption qui dépend, entre autres, de la fréquence *f* de l'onde, et où *R* est la distance entre la source et le récepteur.

f (kHz)	0,1	0,3	1	3	10	30	100	300	1000
α (dB/km)	0,001	0,01	0,07	0,1	1	5	30	100	500

Source : Acoustique sous-marine présentation et applications Xavier Lurton - IFREMER

2.3.d. Estimer la valeur de la diminution du niveau d'intensité sonore en décibel (dB) dans la situation étudiée. On précisera l'approximation effectuée.

2.4. La courbe ci-dessous indique le niveau sonore minimal pour qu'un son de fréquence *f* soit audible par un dauphin.



D'après :

Conférence : *Sonar et faune marine : une cohabitation à risques ? Xavier Lurton et Yves Le Gall*
https://wwz.ifremer.fr/webtv/Conferences/Sonar-et-faune-marine

D'après les données de cet exercice, les dauphins ont-ils pu percevoir l'émission du sonar du navire scientifique à Madagascar en 2008 ?