Ondes
Chapitre 1

TD – Phénomènes ondulatoires

Remarque : exercice avec ⋆ : exercice particulièrement important, à maîtriser en priorité (de même que les exemples de questions de cours des "ce qu'il faut savoir faire")| [● ○ ○] : difficulté des exercices

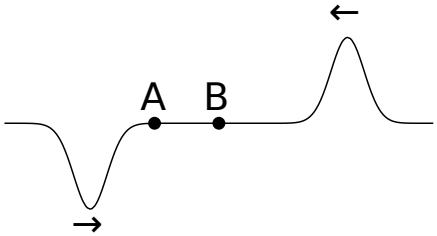
I Vrai-faux/questions courtes ⋆ | [● ○ ○]

1 - (V/F) Une onde peut être utilisée pour transporter de la matière d'un endroit à un autre.

2 - (V/F) Une onde peut être utilisée pour transporter de l'énergie d'un endroit à un autre.

3 -

Le schéma ci-contre représente une corde sur laquelle se déplacent deux perturbations. Tracer l'allure de la corde à différents instants ultérieurs, en particulier quand les deux ondes se croisent.



4 - On considère une corde accrochée à une extrémité et tenu à la main de l'autre côté. La corde est tendue. Lorsqu'on agite la main, la perturbation engendrée se propage. Est-ce que la façon d'agiter la main permet d'avoir une vitesse de propagation plus ou moins rapide ?

II Vitesse d'une moto par analyse de l'effet Doppler [● ● ○]

Étude de l'effet Doppler
On considère une source qui émet un bip tout les temps T. Cette source se rapproche d'un récepteur avec une vitesse v. La célérité du son dans l'air est notée c, et on prendra $c = 340\,\mathrm{m/s}$.

1 - On note d la distance entre la source et le récepteur à l'instant $t = 0$. À $t = 0$ il y a émission d'un bip. À quel instant est-il reçu par le récepteur ?

Le bip suivant est émis à l'instant $t = T$. À quel instant est-il reçu par le récepteur ?

En déduire la période T' avec laquelle le récepteur reçoit le signal.

Le fait que $T' \neq T$ est appelé effet Doppler.

2 - Dans le cas précédent, a-t-on $T' > T$ ou $T' < T$? Que faut-il faire pour avoir l'inverse ?

3 - Citer une situation où vous entendez une manifestation de l'effet Doppler.

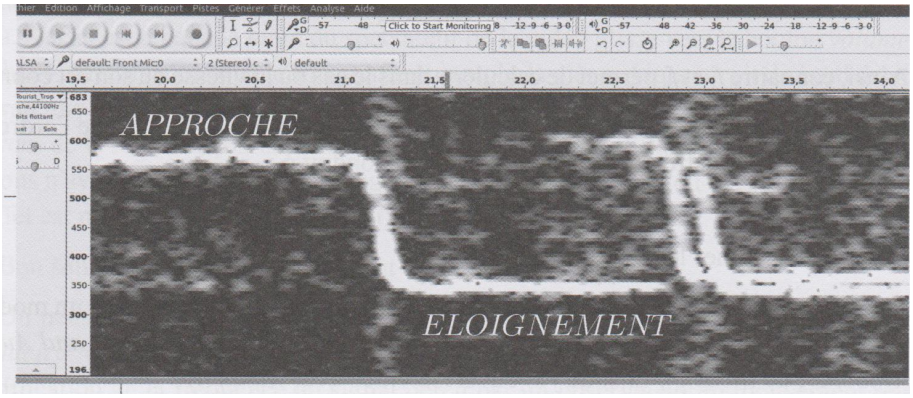
La question 1 permet de déduire les formules suivantes pour l'effet Doppler : lorsqu'une source de fréquence f_0 est en mouvement à la vitesse v par rapport à un récepteur, alors la fréquence perçue par le récepteur est

$$f_r = f_0 \times \frac{c}{c-v} \quad \text{si la source se rapproche,} \qquad f_e = f_0 \times \frac{c}{c+v} \quad \text{si la source s'éloigne.}$$

Exploitation

La vidéo d'introduction de la course de motos de l'île de Man (Royaume-Unis) débute par une séquence où des motos passent à pleine vitesse devant la caméra, sur une petite route de campagne. On entend clairement un changement de fréquence lors de leur passage. Nous souhaitons en déduire leur vitesse.

Capture de la vidéo https://www.youtube.com/watch?v=Kd-LRAgUorQ (site classe). On ne voit pas bien la moto car elle va trop vite.



Zoom sur une portion du spectrogramme de la piste audio de la vidéo, réalisé avec Audacity. Source : Mathieu L., *Quand je fais de la physique*.

Le spectrogramme ci-dessus à droite est une représentation où figure en ordonnée la fréquence (en Hz) et en abscisse le temps (en s). Chaque abscisse correspond à un instant donné, et en blanc apparaissent les fréquences qui dominent le spectre à cet instant là.

4 - Quelle est la vitesse de la moto ?

III Sonar [● ○ ○]

Un sonar (SOund NAvigation and Ranging) est un dispositif de détection utilisant les ondes acoustiques comme signal détectant. Il permet aux marins de naviguer correctement (mesure de la profondeur) ou aux sous-mariniers de repérer les obstacles et les autres navires. Certains animaux (chauve-souris, dauphins, etc.) utilisent des systèmes similaires au sonar pour repérer leurs proies ou des obstacles.
On suppose dans cette partie que la mer est un milieu homogène dans lequel le son se propage rectilignement. À 10 °C, la vitesse du son dans l'eau de mer est $c_{\text{mer}} = 1{,}50\,\text{km}\,\text{s}^{-1}$.
L'avant d'un sous-marin est équipé d'un sonar lui permettant d'éviter d'entrer en collision avec un autre sous-marin. Le sonar est constitué d'un émetteur d'ondes sonores et d'un récepteur capable d'identifier l'écho de l'onde précédemment émise. On note O l'avant du sous-marin équipé du sonar et (Ox) l'axe du sous-marin, correspondant à l'axe de propagation de l'onde sonore. Un second sous-marin se trouve à distance L du premier, dans la configuration représentée figure 1.

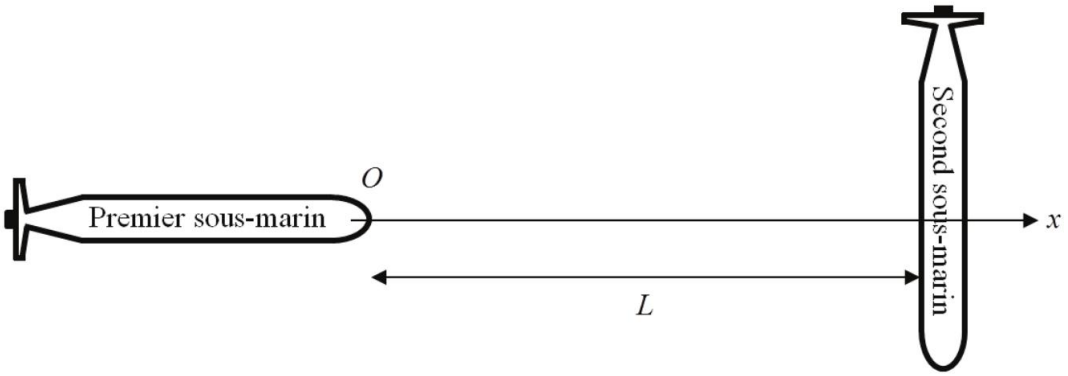


Figure 1 : les sous-marins, vus du dessus.

1 - Expliquer le principe de fonctionnement d'un sonar.

2 - L'émetteur produit une très brève impulsion sonore. Le récepteur en reçoit l'écho au bout d'une durée $\Delta t_e = 38{,}8\,\text{ms}$. En déduire la distance L à laquelle se situe le second sous-marin.

À partir de l'instant $t = 0$, le sonar émet l'impulsion sonore pseudo-sinusoïdale représentée figure 2 pendant une durée $\Delta t_i = 800\,\mu\text{s}$.

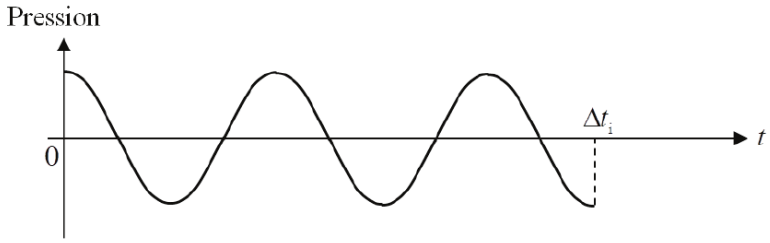


Figure 2 : impulsion pseudo-sinusoïdale de durée Δt_i correspondant au signal envoyé par le sonar.

3 - Déterminer en justifiant la fréquence f de l'onde sonore émise par le sonar.

On s'intéresse à la propagation spatiale de l'impulsion sonore. On la représente alors dans un système d'axe dont l'abscisse est la position x mesurée à partir de l'avant du sous-marin qui émet l'onde ultrasonore.

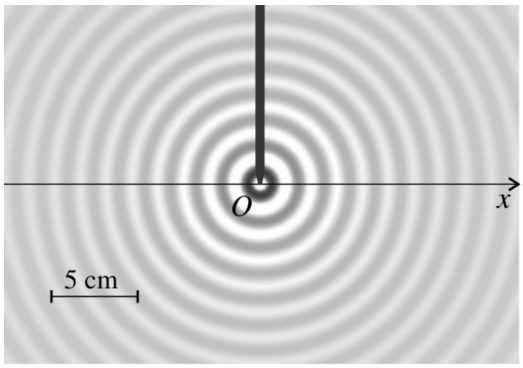
4 - Exprimer et calculer numériquement la longueur spatiale Δx de l'impulsion.

5 - Représenter sur la copie l'impulsion sonore à l'instant $t = 12{,}0\,\text{ms}$ en fonction de x. Calculer numériquement, en justifiant précisément, les positions du début (ou front) de l'impulsion et de sa fin.

Un détecteur d'ondes sonores est placé sur le second sous-marin, sur l'axe (Ox).

6 - Représenter sur la copie l'évolution de l'amplitude enregistrée par ce détecteur au cours du temps. Calculer numériquement, en justifiant précisément, les instants auxquels le détecteur reçoit le début et la fin de l'impulsion.

IV Cuve à ondes [● ○ ○]



La figure ci-contre représente la surface d'une cuve à ondes éclairée en éclairage stroboscopique bien accordé, qui permet de visualiser les creux et les vagues à la surface de l'eau. L'onde est générée par un vibreur de fréquence $f = 20\,\text{Hz}$. L'image est claire là où la surface de l'eau est convexe (en bosse) et foncée là où elle est concave (en creux). Ainsi, le niveau de gris indique la hauteur d'eau dans la cuve.

1 - En mesurant sur la figure, déterminer la longueur d'onde.

2 - En déduire la célérité de l'onde.

3 - Supposons l'onde progressive sinusoïdale, d'amplitude H. Donner une expression mathématique pour la hauteur $h(x,t)$. Distinguer les cas $x < 0$ et $x > 0$.

4 - Expliquer pourquoi l'amplitude H n'est en fait pas constante.