

Exercices d'application :□ **Exercice 13.1. Application directe : retard de propagation ★**

1. La lumière émise par le Soleil (à une distance $d = 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$) se déplace à la célérité $c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

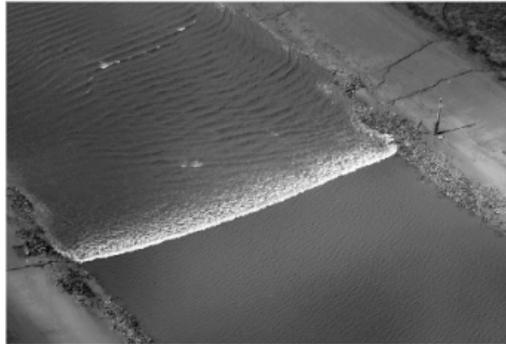
Quel est le retard avec lequel nous recevons le signal émis ?

2. On observe un éclair et on entend le tonnerre avec un retard $\tau = 3 \text{ s}$.

Quelle est la distance à laquelle est l'orage ?

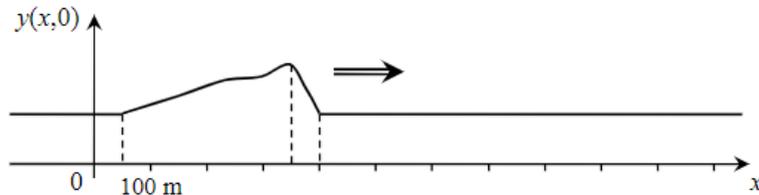
□ **Exercice 13.2. Mascaret ★**

Un mascaret est une vague solitaire remontant un fleuve au voisinage de son estuaire, et provoquée par une interaction entre son écoulement et la marée montante.



On considère ici un mascaret se déplaçant à la vitesse $c = 20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ le long d'un fleuve rectiligne, et on définit un axe (Ox) dans la direction et le sens de sa propagation.

À un instant $t_0 = 0$, le profil de niveau de l'eau du fleuve a l'allure suivante :



1. Faire un schéma du profil de niveau du fleuve à $t = 1,0$ minute, en supposant que l'onde se propage sans déformation.
2. Toto attend avec sa planche de surf à l'abscisse $x_T = 2,0 \text{ km}$. À quel instant va-t-il recevoir la vague ?
3. Un détecteur fixe, enregistrant la hauteur du fleuve en fonction du temps, est placé à l'abscisse $x_d = 1,4 \text{ km}$. Dessiner l'allure des variations $y(x,t)$ en fonction de t .
4. En réalité, l'onde se déforme petit à petit car la vitesse de propagation en un point augmente avec la hauteur d'eau sous ce point. Comment évolue alors le profil de la vague ?

□ **Exercice 13.3. Onde progressive sinusoïdale ★**

Une onde progressive sinusoïdale a pour expression, en $x = 0$,

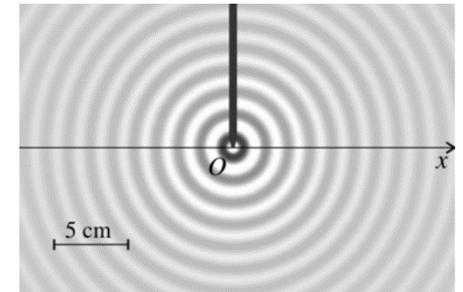
$$s(0, t) = A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad \text{avec} \quad \omega = 9,2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad A = 1,5 \text{ V} \quad \varphi_0 = 0, 3\pi$$

Elle se propage dans le sens des x croissants à la vitesse $c = 30 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$

- 1 - Déterminer la période du signal.
- 2 - Déterminer la longueur d'onde du signal.
- 3 - Donner l'expression générale de $s(x, t)$.

□ **Exercice 13.4. Cuve à onde ★**

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).

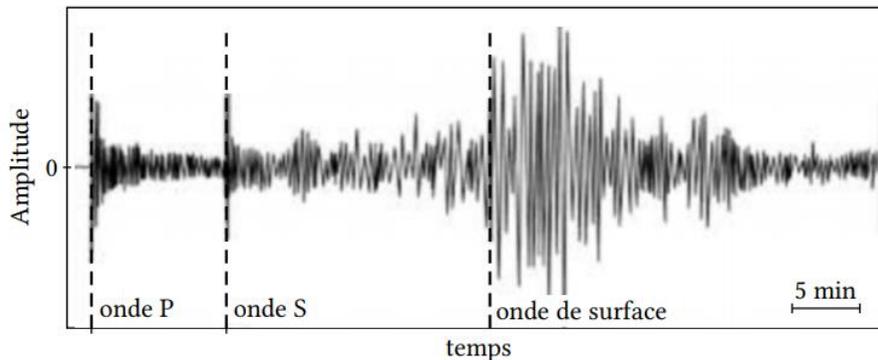
1. En mesurant sur la figure, déterminer la longueur d'onde.
2. En déduire la célérité de l'onde.
3. Supposons l'onde progressive et sinusoïdale, d'amplitude H . Donner une expression mathématique pour la hauteur $h(x, t)$. Distinguer les cas x croissant et x décroissant.
4. Expliquer qualitativement pourquoi l'amplitude de l'onde n'est pas constante dans l'espace.

Exercices d'entraînement :□ **Exercice 13.5. Propagation d'ondes sismiques ★★**

Les ondes sismiques sont constituées d'ondes de volume qui traversent le manteau terrestre et d'ondes de surface qui se propagent à la surface de la Terre. On ne s'intéresse par la suite qu'aux ondes de volume pour lesquelles on distingue deux types d'onde :

- l'onde primaire, appelée onde P, qui se propage par dilatation et compression successives, parallèlement à la direction de propagation de l'onde. Cette onde est détectée la première, elle se déplace à une célérité $c_P = 6,15 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Elle est responsable du grondement sourd que l'on peut entendre au début d'un tremblement de terre ;
- l'onde secondaire, appelée onde S, pour laquelle les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Cette onde est détectée après l'onde P et se propage avec une célérité $c_S = 3,60 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

La ci-dessous représente un sismogramme enregistré par une station de mesure située en Australie.



- 1 – Mesurer la durée séparant la détection de l'onde P et de l'onde S sur le sismogramme de la figure.
- 2 – En déduire la distance d séparant la station de mesure de l'épicentre du séisme.
- 3 – Les résultats de combien de stations de mesure doit-on disposer pour localiser la position de l'épicentre dans la croûte terrestre ?

□ **Exercice 13.6. 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 $c = 340 \text{ m/s}$.

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 :

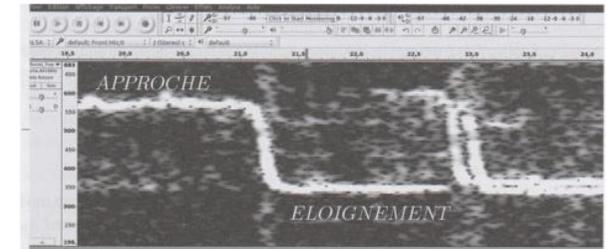
$$f_r = f_0 \times \frac{c}{c - v} \text{ si la source se rapproche, } f_e = f_0 \times \frac{c}{c + v} \text{ si la source s'éloigne}$$

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 ?