Exercices d'application :

☐ Exercice 13.1. Application directe : retard de propagation ★

1. La lumière émise par le Soleil (à une distance d = **1,5×10^{11} m**) se déplace à la célérité c = **3×10^{8} m.s^{-1}**.
Quel est le retard avec lequel nous recevons le signal émis ?

$$\tau = \frac{d}{c} = \frac{1,5 \times 10^{11}}{3 \times 10^{8}} = 500\ s$$

2. On observe un éclair et on entend le tonnerre avec un retard **τ = 3s**.
Quelle est la distance à laquelle est l'orage ?

$$c_{son} = 340\ m.s^{-1}$$
$$c = 3 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$$
$$\tau_{son} = \frac{d}{c_{son}}\ et\ \tau = \frac{d}{c}$$

$$\tau_{son} - \tau = d\left(\frac{1}{c_{son}} - \frac{1}{c}\right) = d\frac{c - c_{son}}{c \times c_{son}}$$

$$d = (\tau_{son} - \tau) \times \frac{c \times c_{son}}{c - c_{son}}$$

$$AN: d = 3 \times \frac{3\times10^{8} \times 340}{3\times10^{8} - 340} = 1,02 \times 10^{3} m$$

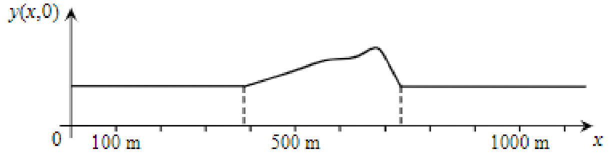
En faisant l'approximation que $c \gg c_{son}$:

$$d = c_{son} \times \tau = 3 \times 340 = 1020\ m$$

On trouve le même résultat.

☐ Exercice 13.2. Mascaret ★

1. À l'instant t, l'onde s'est déplacée d'une distance $ct = 330$ m, d'où le profil suivant, avec le front de l'onde aux alentours de x = 730 m et une queue autour de x = 380 m.



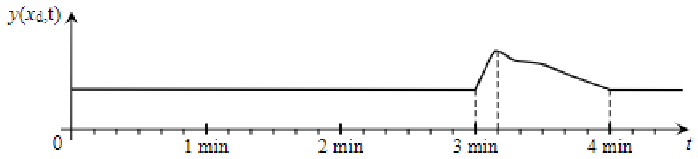
➩ *Méthode 8.1*

2. Le front de l'onde, qui est en x_f = 400 m à l'instant t_0 = 0, atteint l'abscisse x_T avec un retard $\boxed{t = \frac{x_T - x_f}{c}}$. Application numérique : $t = \frac{2000-400}{20} \times 3,6$ soit $\boxed{t = 290\ s = 4\ min\ 50\ s}$.

Le facteur 3,6 correspond à la conversion des kilomètres par heure en mètres par seconde. D'autre part, la précision des données ne permet pas de donner plus de deux chiffres significatifs dans le résultat.

3. Déterminons les instants particuliers pour l'onde à l'abscisse x_d. Le front d'onde arrive avec un retard $t_f = \frac{x_d - x_f}{c} = 180\ s = 3\ min$. Le sommet, qui était en $x_s = 350$ m à l'instant t_0 = 0, arrive en $t_s = \frac{x_d - x_s}{c} = 170\ s = 3\ min\ 10\ s$. Enfin la queue de la vague, qui était en $x_q = 50$ m à l'instant t_0 = 0, arrive en $t_s = \frac{x_d - x_q}{c} = 240\ s = 4\ min$.

L'évolution temporelle à l'abscisse x_d a donc l'allure suivante :



L'onde apparaît toujours « à l'envers » quand on compare le graphe temporel à x donné et le graphe spatial à t donné : ici le point considéré monte d'abord très vite, lorsqu'il est atteint par le front de la vague, puis redescend lentement au fur et à mesure que le « dos » passe.

4. La vitesse est plus grande là où la hauteur d'eau est plus grande, donc vers le haut de la vague : ainsi le profil à l'avant va s'accentuer petit à petit jusqu'au déferlement de la vague :

☐ Exercice 13.3. Onde progressive sinusoïdale ★

1 –

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 0{,}68\,\mathrm{s}$$

2 –

$$\lambda = cT = 20\,\mathrm{cm}$$

$$s(x,t) = A\sin(\omega t - kx + +\varphi_0) \quad , \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$$

☐ Exercice 13.4. Cuve à onde ★

1. On mesure plusieurs longueurs d'onde pour être plus précis. On obtient, en prenant en compte l'échelle, $\boxed{\lambda \simeq 15\ \mathrm{cm}}$
2. Pour une onde progressive sinusoïdale :

$$\boxed{c = \lambda f = 0{,}30\ \mathrm{ms}^{-1}}$$

3. La perturbation est du type, pour une propagation selon les x croissants :

$$\boxed{h(x,t) = H_0 + H\cos[\omega t - kx + \phi]\ ,\ \omega = 2\pi f\ \text{et}\ k = 2\pi/\lambda}$$

Pour une propagation selon les x décroissants, même chose mais avec un plus dans le cosinus.

4. L'amplitude n'est pas constante car l'onde se propage à 2D. L'énergie fournie par le vibreur au centre se retrouve « diluée » sur un cercle dont le rayon augmente : donc en un point donné du cercle elle diminue.

<u>Exercices d'entraînement :</u>

☐ Exercice 13.5. Propagation d'ondes sismiques ★★

1 – L'intervalle de temps séparant les détections des ondes P et S est $\Delta t = t_\mathrm{S} - t_\mathrm{P} = 10\,\mathrm{min}$.

2 – Le temps de propagation de l'onde P de l'épicentre jusqu'à la station est $t_\mathrm{P} = d/c_\mathrm{P}$ et celui de l'onde S est $t_\mathrm{S} = d/c_\mathrm{S}$. Il vient alors :

$$d = \Delta t\,\frac{c_\mathrm{S}c_\mathrm{P}}{c_\mathrm{P} - c_\mathrm{S}} = 5{,}2\cdot 10^3\,\mathrm{km}$$

3 – La donnée d'une distance d_1 séparant une station de mesure de l'épicentre permet de localiser le lieu d'origine du séisme comme un point d'intersection entre la sphère de rayon d_1 centrée sur la station de mesure et la Terre. Pour restreindre la localisation de l'épicentre, il faut utiliser les données de distances d'au moins trois stations différentes. En effet, l'intersection de trois sphères est constituée de deux points et parmi ces deux points, un seul appartient à la Terre.

☐ Exercice 13.6. Vitesse d'une moto par analyse de l'effet Doppler ★★

1. À $t = 0$ il y a émission d'un bip. À quel instant est-il reçu par le récepteur ?
La durée de parcours du bip est c/d, donc il est reçu à l'instant $t_1 = d/c$.

Le bip suivant est émis à l'instant $t = T$. À quel instant est-il reçu par le récepteur ?
La source a avancée d'une distance $T \times v$, donc au moment de l'émission de ce second bip, la distance entre l'émetteur et la source est $d - vT$.
La durée de parcours est donc $\dfrac{d - vT}{c}$.
Ce bip est émis à l'instant T, il est donc reçu à l'instant $t_2 = \dfrac{T + d - vT}{c}$.

La période de réception est $\boxed{T' = t_2 - t_1 = \dfrac{T - vT}{c} = T\left(1 - \dfrac{v}{c}\right)}$.

2. Ici $T' < T$. Pour avoir le contraire il faut que la source s'éloigne, le même raisonnement montre alors que $T' = T\left(1 + \dfrac{v}{c}\right)$.
3. Une ambulance qui s'approche de nous (son plus aigu), puis s'éloigne (son plus grave).
4. On lit sur le spectre que la fréquence reçue est d'environ $f_r = 575$ Hz quand la moto se rapproche, et qu'elle devient $f_e = 350$ Hz quand elle s'éloigne.
On utilise ensuite les deux relations :

$$f_r = f_0 \times \frac{c}{c - v}, \qquad f_e = f_0 \times \frac{c}{c + v}$$

Ici $c = 340$ m/s est la vitesse du son, f_r et f_e sont connues, mais v (la vitesse de la moto) et f_0 (la fréquence du son émis par le moteur) sont des inconnues. Il faut donc isoler v.
On peut prendre le rapport des deux :

$$\frac{f_r}{f_e} = \frac{\dfrac{c}{c - v}}{\dfrac{c}{c + v}} = \frac{c - v}{c + v}$$

On isole ensuite v, après calcul on a :

$$\boxed{v = \frac{f_r - f_e}{f_r + f_e} \times c \simeq 83\ \mathrm{m/s} \simeq 300\ \mathrm{km/h}}$$