

V 2025.

1 Point commun entre un piano et un four à micro-ondes

1.1 Calculer la longueur d'onde λ_1 dans l'air de l'onde sonore correspondant à la touche f_{a7} du piano de fréquence $f_1 = 2794 \text{ Hz}$. On rappelle la valeur de la célérité des ondes sonores dans l'air : $c_1 = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

On cherche λ_1 :

Données: $f_1 = 2794 \text{ Hz}$
 $c_1 = 340 \text{ m.s}^{-1}$

Relation:

$$\lambda_1 = \frac{c_1}{f_1} = \frac{340}{2794} = 0,12 \text{ m}$$

1.2 Faire de même pour les ondes d'un four à micro-ondes de fréquence $f_2 = 2,45 \text{ GHz}$ et de célérité $c_2 = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

1.3 Conclure.

$$2) \lambda_2 = \frac{c_2}{f_2} = \frac{3 \times 10^8}{2,45 \times 10^9} = 0,12 \text{ m}$$

3) La longueur d'onde de la touche f_{a7} du piano et du micro-onde est la même.

2 Une voix de canard

La vitesse du son dans un gaz est donné par la formule :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma R T_0}{M}}$$

où γ est le coefficient adiabatique du gaz, $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ la constante des gaz parfaits, T_0 la température ambiante et M la masse molaire du gaz.

On donne la masse molaire de l'air $M_{\text{air}} = 29 \text{ g.mol}^{-1}$ et son coefficient adiabatique $\gamma_{\text{air}} = 1,4$, ainsi que la masse molaire de l'Hélium $M_{\text{He}} = 4 \text{ g.mol}^{-1}$ et son coefficient adiabatique $\gamma_{\text{He}} = 1,66$.

La longueur d'onde du son émis par un individu dépend de la structure des caisses de résonance.

2.1 Calculer la vitesse c_1 du son dans l'air à 20°C . $\Rightarrow T_0 = 273 + 20 = 293 \text{ K}$.

$$c_1 = \sqrt{\frac{1,4 \times 8,314 \times 293}{29 \times 10^{-3}}} = 343 \text{ m.s}^{-1}$$

M_1 en kg.mol^{-1} (unité SI).

2.2 Expliquer pourquoi après avoir respiré de l'Hélium notre voix ressemble à celle d'un canard (est plus aiguë) ?

On a $\lambda = cT = \frac{c}{f} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$ → fixé : dépend de la structure des caisses de résonance, propre à chaque individu.

Si je respire de l'air : $f_1 = \frac{c_1}{\lambda}$

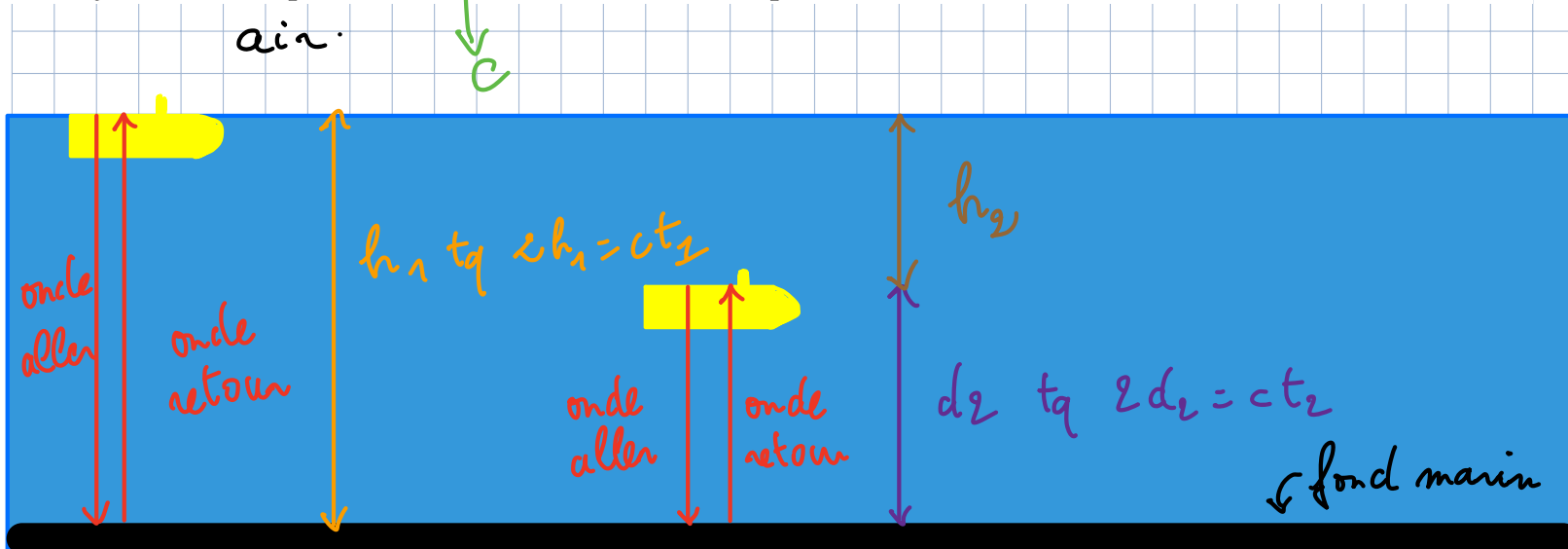
Si je respire de l'Hélium : $c_2 > c_1$ car $M_2 < M_1$

donc $f_2 = \frac{c_2}{\lambda} > f_1$: ma voix est plus aiguë.

3 Sonar

Avant de plonger, le commandant d'un sous-marin équipé d'un dispositif émetteur-récepteur de signaux ultrasonores (sonar), désire connaître la profondeur du fond océanique situé à la verticale du sous-marin. Pour cela il fait envoyer par un technicien un signal ultrasonore vers le fond océanique. Ce signal se réfléchit et l'écho est détecté par le récepteur au bout d'un temps $t_1 = 4,00$ s. Une fois en situation de plongée, le sous-marin, afin de repérer sa profondeur h_1 fait envoyer un signal ultrasonore, se propageant vers le bas. On donne la célérité des ondes ultrasonores dans l'eau : $v = 1,5 \cdot 10^3 \text{ m.s}^{-1}$. Le récepteur perçoit l'écho à $t_2 = 1,60$ s.

3.1 Quelle est la profondeur h_1 du fond océanique ?



$$1) d_1 = v \times t_1 \Leftrightarrow d_1 = 1,5 \times 10^3 \times 4 = 6000 \text{ m}$$

La distance totale parcourue par l'onde est de 6000 m

$$\frac{d_1}{2} = h_1 \Leftrightarrow h_1 = 3000 \text{ m}$$

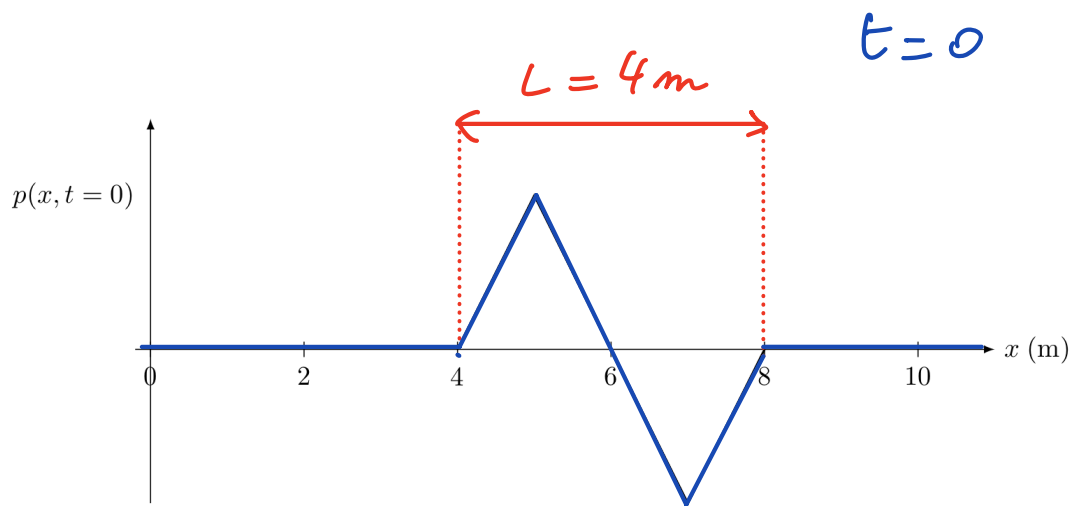
3.2 Quelle est la profondeur h_2 du sous-marin en situation de plongée ?

$$2) \quad d_2 = \frac{2d_2 = ct}{2} \quad c = \frac{1,60 \times 1,5 \times 10^3}{2}$$
$$d_2 = 1200 \text{ m}$$

$$\text{d'où } h_2 = h_1 - d_2 = 3000 - 1200 = 1800 \text{ m}$$

4 Evolution temporelle d'une onde

On considère une onde progressive se propageant à la vitesse $c = 2 \text{ m.s}^{-1}$ dans le sens des x croissant sans atténuation, pour laquelle on donne la représentation graphique $p(x, t = 0)$ ci-dessous.



4.1 Quelle est la longueur L de l'impulsion correspondant à cette onde ?

On mesure $L = 4\text{m}$.

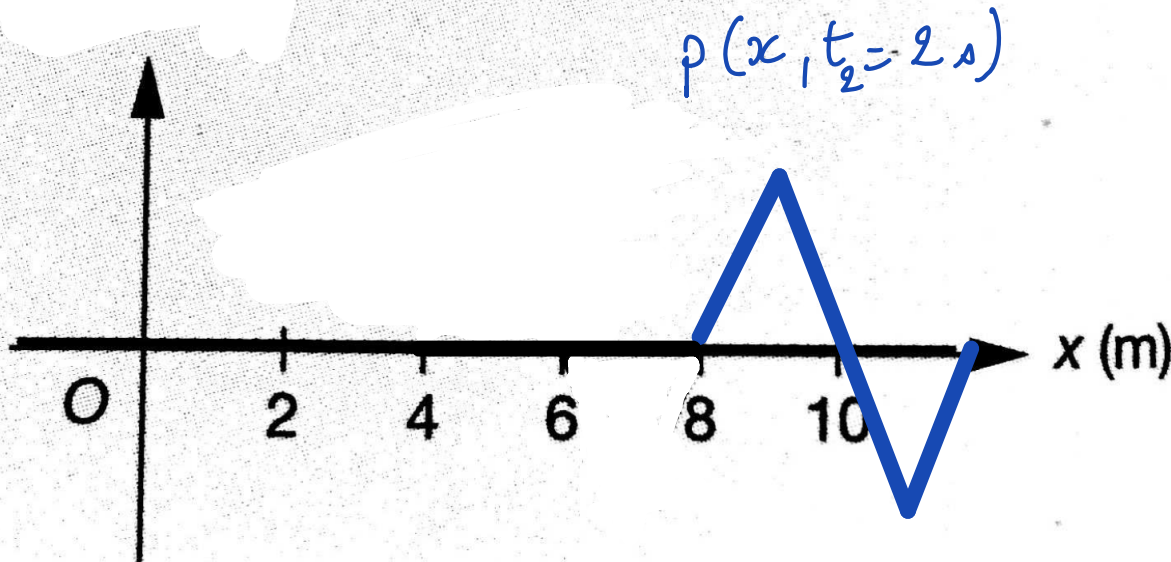
4.2 Pendant quelle durée τ un point M quelconque est-il affecté par le passage de l'onde ?

Un point M sera affecté par l'onde pendant une durée τ tq :

$$\tau = \frac{L}{c} = \frac{4}{2} = 2 \text{ s.}$$

4.3 Représenter $p(x, t_2 = 2 \text{ s})$.

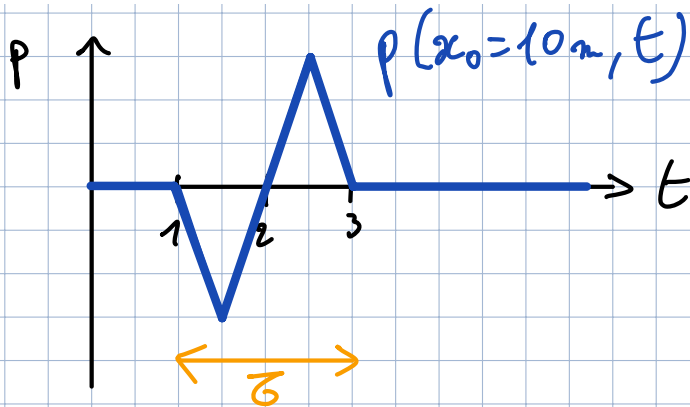
l'onde se déplace vers la droite de $\delta = c \Delta t = 2 \times 2 = 4 \text{ m}$



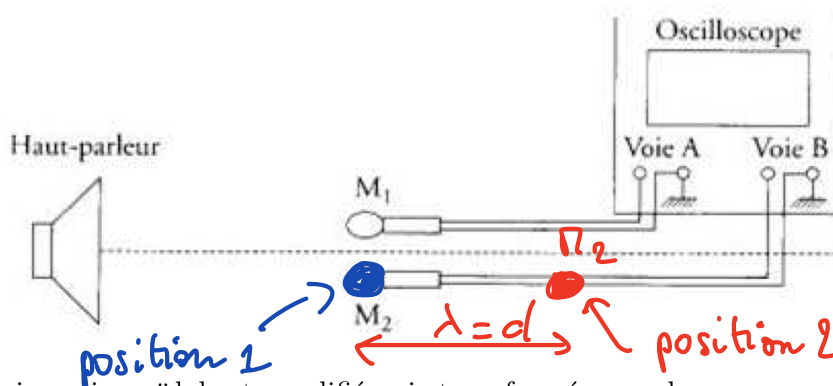
4.4 A quel instant t_1 l'onde arrive-t-elle au point d'abscisse $x_0 = 10 \text{ m}$?

l'onde arrive en $x_0 = 10 \text{ m}$ à $t_1 = 1 \text{ s}$

4.5 Représenter $p(x_0 = 10 \text{ m}, t)$ qui correspond à l'évolution de l'onde en fonction du temps en $x_0 = 10 \text{ m}$.

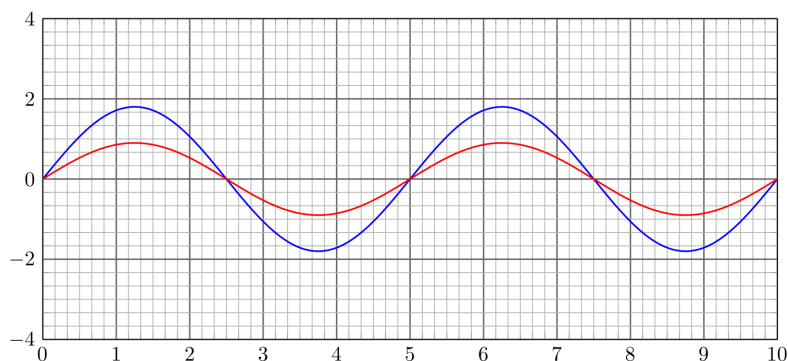


5 Mesure d'une vitesse de propagation



Un signal électrique sinusoïdal est amplifié puis transformé en onde sonore par le haut-parleur. Pour mesurer la vitesse du son émis par le haut-parleur à la température de la salle, on réalise

l'expérience schématisée sur la figure ci-dessus. On place côte à côte face au haut-parleur, deux microphones M_1 et M_2 branchés sur les voies A et B d'un oscilloscope. Les courbes observées sur l'écran de l'oscilloscope sont représentées ci-dessous, les deux voies de l'oscilloscope n'étant pas réglées avec la même déviation verticale.



5.1 Quelle est la nature de l'onde émise par le haut-parleur ?

C'est une onde mécanique, une onde sonore.

5.2 Cette onde sonore est dite longitudinale. Expliquer cette appellation.

le mouvement de la "déformation" liée à l'onde (mvt de l'air au passage de l'onde) est **parallèle** au sens de déplacement de l'onde : on dit que l'onde est longitudinale.

Les courbes observées sur l'écran de l'oscilloscope sont en phase. On laisse le microphone M_1 en place et on déplace lentement et parallèlement à l'axe du haut-parleur le microphone M_2 jusqu'à obtenir à nouveau les deux courbes en phase. La distance qui sépare les deux microphones dans cette nouvelle position est $d = 1,50$ m.

5.3 Définir la longueur d'onde d'une onde sinusoïdale.

A t fixé, λ est la période spatiale de l'onde.

5.4 Que représente alors la distance d dans cette expérience ?

le signal reçu par M_2 a exactement un retard de $\tau = T$ sur le signal reçu par M_1 d'où $\tau = T = \frac{d}{c} \Rightarrow d = cT = \lambda$

5.5 Comment pourrait-on améliorer cette mesure ?

Rappel : $u(P_1) = \frac{\Delta P_1}{\sqrt{3}}$ précision = 0,5 mm.

On va mesurer par exemple 10λ pour diminuer l'incertitude sur λ d'un facteur 10.

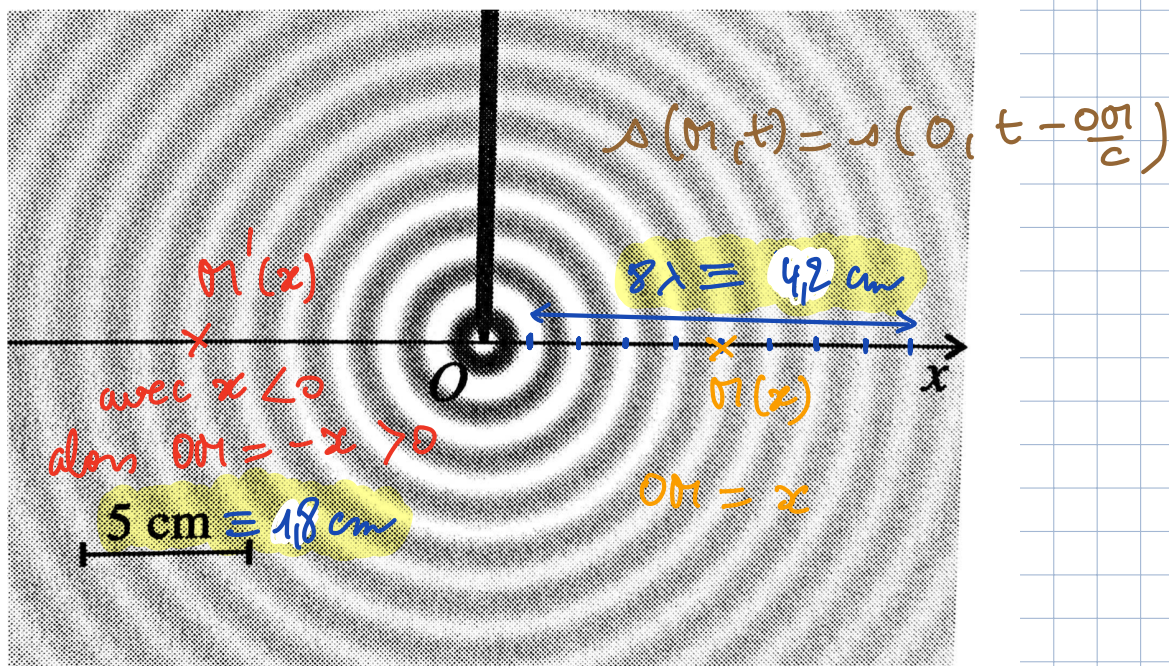
$$\Rightarrow u(\lambda) = \frac{\sqrt{2} u(P_1)}{10}$$

$$\begin{array}{c} \xleftarrow{10\lambda = P_2 - P_1} \\ P_1 \qquad \qquad P_2 \end{array} \quad u(10\lambda) = \sqrt{u(P_1)^2 + u(P_2)^2} = \sqrt{2} u(P_1)$$

5.6 Sachant que la fréquence de l'onde sonore émise par le haut-parleur est $f = 225 \text{ Hz}$, calculer la vitesse de propagation du son dans l'air.

On a $f = 225 \text{ Hz}$ et $d = \lambda = 1,50 \text{ m}$
 $\Rightarrow c = \lambda f = 1,50 \times 225 = 337 \text{ m.s}^{-1}$

6 Cuve à onde



La figure représente la surface d'une cuve à onde éclairée en éclairage stroboscopique. L'onde est engendrée par un vibreur de fréquence $f = 18 \text{ Hz}$. L'image est claire là où la surface de l'eau est convexe, foncée là où elle est concave.

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

sur le dessin	En réel
1,8 cm	5 cm
1 cm	2,75 cm
4,2 cm	8 λ
$\frac{4,2}{8} \text{ cm}$	$\lambda = \frac{4,2}{8} \times 2,75 \approx 1,4 \text{ cm}$

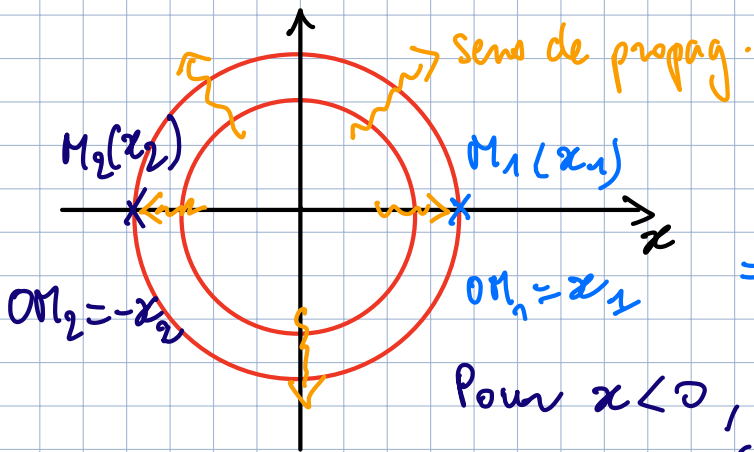
6.2 En déduire la célérité de l'onde.

On a $\lambda = \frac{c}{f} \Leftrightarrow c = \lambda \times f = 1,4 \times 18 = 25 \text{ cm.s}^{-1}$

On suppose l'onde sinusoïdale, d'amplitude A constante et de phase initiale nulle en O :

$$s(0, t) = A \cos(\omega t)$$

6.3 Écrire le signal $s(x, t)$ pour $x > 0$ et pour $x < 0$.



Pour $x = x_1 > 0$ onde en $M_1 (x > 0)$:

$$s_+(x, t) = s_+(M_1, t) = s_+(0, t - \frac{OM_1}{c})$$

$$= A \cos\left[\omega \left(t - \frac{x}{c}\right)\right] = A \cos(\omega t - kx)$$

Pour $x < 0$, l'onde en $M_2 (x_2 = x < 0)$

$$s_-(x, t) = s_-(0, t - \frac{OM_2}{c}) = A \cos\left[\omega \left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$= A \cos(\omega t + kx) .$$

6.4 Expliquer pourquoi A n'est en pratique pas constante.

En pratique A n'est pas constant car l'onde s'amortit au cours de sa propagation.

7 Ondes progressives sinusoïdales

7.1 Donner la période, la fréquence, la pulsation, la longueur d'onde, le nombre d'onde et le vecteur d'onde, de l'onde :

$$s(x, t) = 5 \sin(2,4 \cdot 10^3 \pi t - 7,0 \pi x + 0,7 \pi)$$

ici :

$$\vec{u}_x \quad \vec{k} = k \vec{u}_x$$

où x et t sont exprimés respectivement en mètres et en secondes. Quelle est sa vitesse de propagation ?

Par identification : $\omega = 2,4 \cdot 10^3 \pi = 7,5 \cdot 10^3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

d'où $T = \frac{2\pi}{\omega} = 8,4 \cdot 10^{-4} \text{ s}$ et $f = \frac{1}{T} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ Hz}$

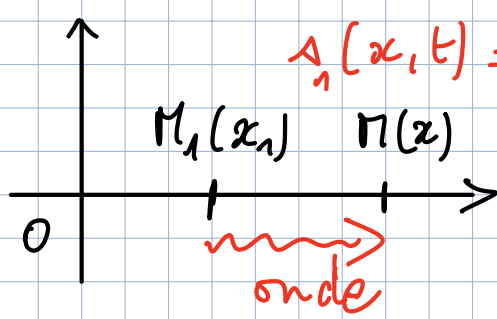
On identifie : $k = 7\pi \approx 22 \text{ rad} \cdot \text{m}^{-1}$ et $\vec{k} = k \vec{u}_x$.

d'où $\lambda = \frac{2\pi}{k} = 0,29 \text{ m}$ et $\sigma = \frac{1}{\lambda} = 3,4 \text{ m}^{-1}$.

On en déduit $\lambda = cT \Rightarrow c = \lambda f \approx 3,5 \cdot 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

ou $k = \frac{\omega}{c} \Rightarrow c = \frac{\omega}{k}$

7.2 Une onde sinusoïdale se propage dans la direction de l'axe (Ox) dans le sens positif avec la célérité c . L'expression du signal de l'onde au point d'abscisse x_1 est $s_1(x_1, t) = A \cos(\omega t)$. Déterminer l'expression de $s_1(x, t)$. Représenter $s(x, 0)$ en fonction de x (on fera apparaître A , x_1 et λ sur le graphe).



$$\begin{aligned} s_1(x, t) &= s_1(M, t) = s_1(M_1, t - \frac{M_1M}{c}) \text{ avec } \frac{M_1M}{c} = \frac{x - x_1}{c} \\ &= s_1(x_1, t - \frac{x - x_1}{c}) \end{aligned}$$

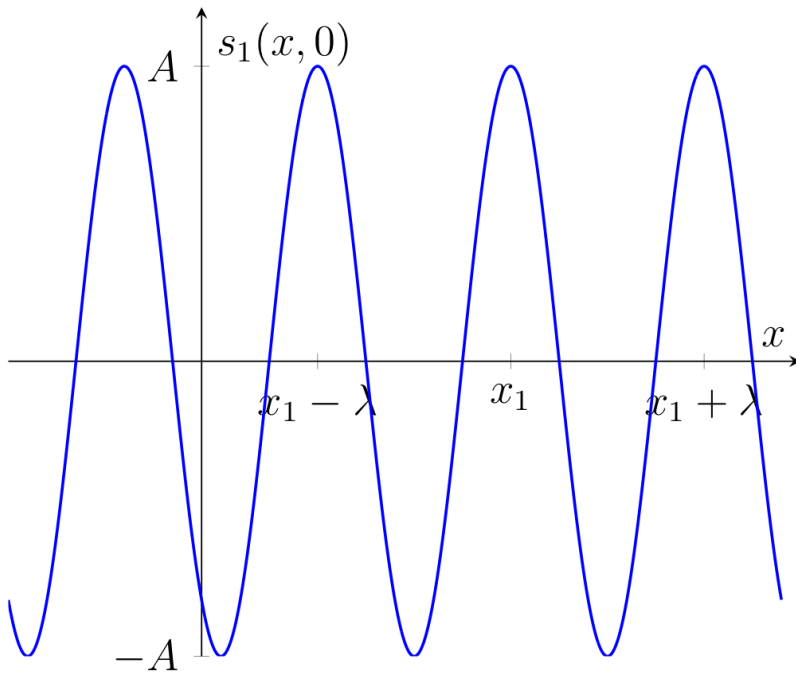
$$= A \cos \left[\omega \left(t - \frac{x - x_1}{c} \right) \right]$$

$$= A \cos \left[\omega t - k(x - x_1) \right]$$

$t=0$

puis $s_1(x, 0) \stackrel{!}{=} A \cos \left[-k(x - x_1) \right] = A \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} (x - x_1) \right]$

Signal s_1 en fonction de x à l'instant $t = 0$

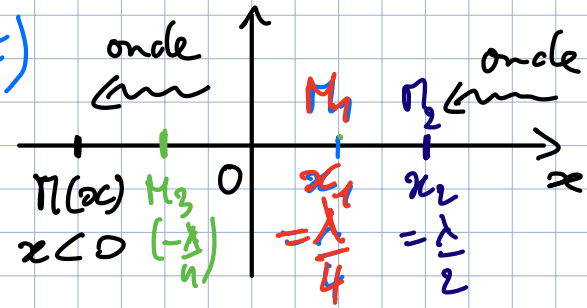
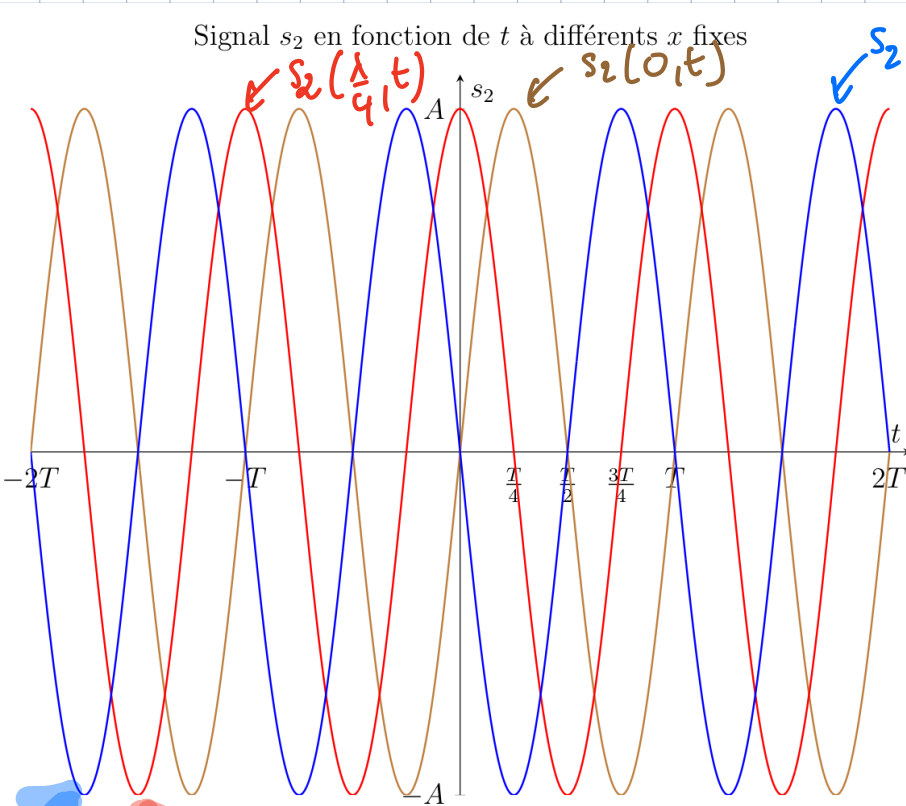


Remarque :

$$\begin{aligned} s_1(x_1, 0) &= A \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} (x_1 - x_1) \right) \\ &= A \cos(0) \\ &= A \end{aligned}$$

7.3 Une onde sinusoïdale se propage dans la direction de l'axe (Ox) dans le sens négatif avec la célérité c . On donne : $s_2(0, t) = A \sin(\omega t)$. Déterminer l'expression de $s_2(x, t)$. Représenter graphiquement $s_2(\frac{\lambda}{4}, t)$ et $s_2(\frac{\lambda}{2}, t)$ en fonction de t .

Signal s_2 en fonction de t à différents x fixes



$$s_2(x, t) = s_2(0, t - \frac{OM}{c})$$

$$\text{Or } OM = x_0 - x_n = -x > 0$$

$$\Rightarrow s_2(x, t) = s_2(0, t + \frac{x}{c})$$

d'où $s_2(x, t) = A \sin\left(\omega\left(t + \frac{x}{c}\right)\right) = A \sin\left(\omega t + kx\right)$ avec $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Alors $s_2\left(\frac{\lambda}{4}, t\right) = A \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{\lambda}{4}\right) = A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$

$s_2\left(\frac{\lambda}{2}, t\right) = A \sin\left(\omega t + \pi\right) = -A \sin(\omega t) = -s_2(0, t)$

A la calculatrice prendre $\omega = 2\pi/T$ avec $T=1$ et $A=1$

Puis tracer en mode radian : $s_2(0, t) = \sin(2\pi t)$

$$s_2\left(\frac{\lambda}{4}, t\right) = \sin\left(2\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$$

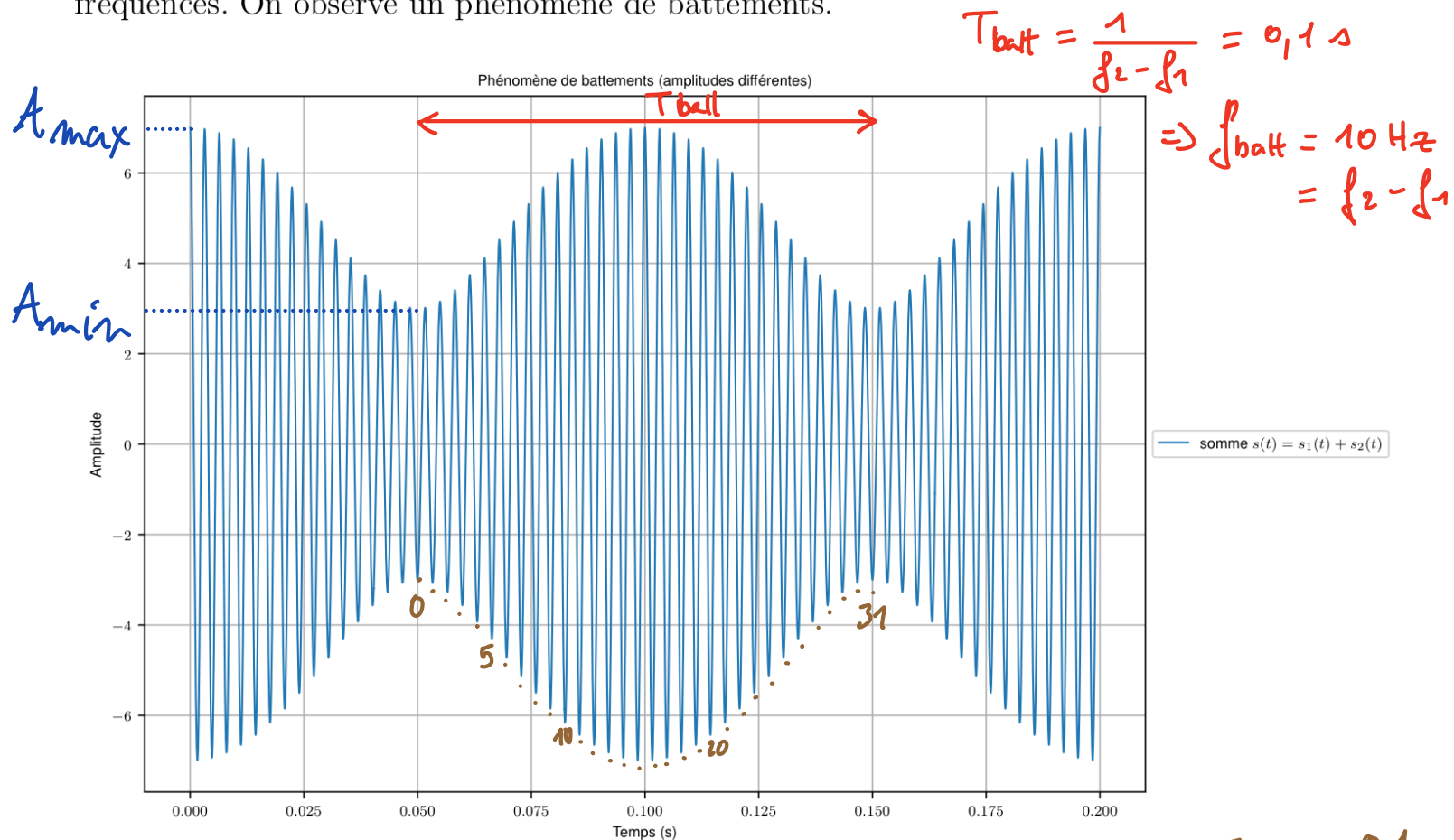
$$s_2\left(\frac{\lambda}{2}, t\right) = -\sin(2\pi t)$$

Puis régler la fenêtre de tracé tq : abscisses $\in [-2; 2]$

ordonnées $\in [-1,2; 1,2]$

8 Battements

La figure ci-dessous montre l'enregistrement, en fonction du temps, d'un signal $s(t)$ obtenu par superposition de deux signaux sinusoïdaux fournis par deux générateurs de basses fréquences. On observe un phénomène de battements.



$$T_{batt} = \frac{1}{f_2 - f_1} = 0,1 \text{ s}$$

$$\Rightarrow f_{batt} = 10 \text{ Hz} = f_2 - f_1$$

On demande de déterminer :

8.1 les fréquences des deux signaux sinusoïdaux ;

8.2 les amplitudes de ces deux signaux.

$$31 T_{moy} = 0,1 \text{ s} \Rightarrow T_{moy} = \frac{0,1}{31}$$

$$\Rightarrow f_{moy} = \frac{31}{0,1} = 310 \text{ Hz}$$

$$\text{avec } f_{moy} = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

$$\textcircled{8.1} \begin{cases} f_1 + f_2 = 2 f_{moy} & (1) \\ f_2 - f_1 = f_{batt} & (2) \end{cases}$$

$$(1) + (2) \Rightarrow 2 f_2 = 2 f_{moy} + f_{batt} \Rightarrow f_2 = f_{moy} + \frac{f_{batt}}{2} = 310 + 5 = 315 \text{ Hz}$$

$$(1) - (2) \Rightarrow 2 f_1 = 2 f_{moy} - f_{batt} \Rightarrow f_1 = f_{moy} - \frac{f_{batt}}{2} = 305 \text{ Hz}$$

$$\textcircled{8.2} \quad A_{\max} = A_1 + A_2 = 7 \text{ graphiquement} \quad (3)$$

$$A_{\min} = A_1 - A_2 = 3 \quad " \quad (4)$$

$$(3) + (4) \Rightarrow 2A_1 = 10 \Rightarrow A_1 = 5.$$

$$(3) - (4) \Rightarrow 2A_2 = 4 \Rightarrow A_2 = 2$$

Rq: ici on a supposé $A_1 > A_2$ donc $A_{\min} = (A_1 - A_2) = A_1 - A_2$

On aurait pu aussi avoir $A_2 > A_1$

et $A_2 = 5$; $A_1 = 2$

$\leadsto$ un relevé de battements ne permet pas de discerner ces 2 cas