

SERIE 1	SERIE ONDE MECANIQUE PROGRESSIVE	4eme sc exp
		Prof : BOUSSADA ATEF

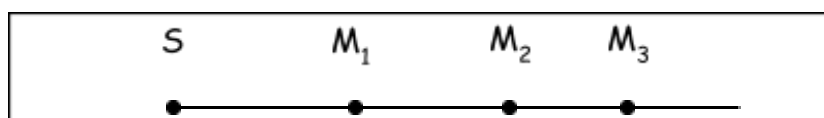
Exercice 1:

Une pointe, liée à un vibreur, produit en un point O de la surface de l'eau d'une cuve à ondes, des vibrations d'équation : $y_o(t) = 2.10^{-3} \sin(100\pi t) \quad \forall t \geq 0$.

- 1°) Définir la longueur d'onde λ .
- 2°) Décrire le phénomène observé à la surface du liquide en lumière ordinaire.
- 3°) Qu'observe-t-on si on éclaire la surface du liquide avec un stroboscope de fréquence :
 - a- $N_e = 25 \text{ Hz}$.
 - b- $N_e = 26 \text{ Hz}$.
- 4°) Les rides étant en immobilité apparente. On relève la différence Δr des rayons au niveau des crêtes, entre une ride d'ordre n et la ride d'ordre $n+4$, on trouve $\Delta r = 3,2 \text{ cm}$.
 - a- Calculer la longueur d'onde λ .
 - b- Déduire la célérité v de propagation des ondes.
- 5°) a- Déterminer l'ensemble des points de la surface du liquide ayant l'élongation 2 mm à la date $t_1 = 0,05 \text{ s}$.
 b- Représenter, à cette date, la coupe de la surface du liquide par un plan vertical passant par O.
- 6°) Soit un point M_1 de la surface du liquide tel que $OM_1 = 12 \text{ mm}$. Déterminer l'ensemble des points de la surface du liquide ayant, à la date $t_1 = 0,05 \text{ s}$, la même élongation que M_1 et une vitesse négative.

Exercice 2:

On considère une pointe qui frappe à la surface d'un liquide en un point S. Elle y provoque une onde transversale sinusoïdale qui se propage avec une célérité constante $v = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$. La source S débute son mouvement à la date $t = 0 \text{ s}$. Soient M_1 , M_2 et M_3 trois points de la surface du liquide situés consécutivement à partir de S comme l'indique la figure



1

L'équation horaire du mouvement du point M_1 est : $y_{M_1}(t) = 2.10^{-3} \sin(100\pi t)$ en (m).

- 1°) Déterminer l'équation horaire du mouvement de M_2 sachant que la distance $M_1M_2 = 2,25 \text{ cm}$
- 2°) Le point M_1 commence à vibrer $0,05 \text{ s}$ après le début de mouvement de S.
 - a- Déterminer l'équation du mouvement de la source S.
 - b- Représenter dans le même repère les diagrammes de mouvement de S et M_1 .
- 3°) a- Ecrire l'équation de la sinusoïde des espaces à la date $t' = 0,05 \text{ s}$.
 b- Représenter une coupe transversale de la surface du liquide par un plan vertical passant par S à la date t' .
 c- Déduire l'allure de la même coupe à la date $t'' = 0,045 \text{ s}$.
- 4°) M_3 est le point de la surface du liquide le plus proche de M_2 qui vibre en phase avec M_1 . Calculer la distance SM_3 .

Exercice 3:

Une lame vibrante est animée d'un mouvement rectiligne sinusoïdal de fréquence $N = 50 \text{ Hz}$. Elle est munie d'une pointe qui frappe verticalement la surface d'une nappe d'eau en un point S d'où la création

de rides circulaires d'amplitude a qui se propagent à la célérité $v = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$. On néglige l'amortissement et les réflexions des ondes.

S débute son mouvement à $t = 0 \text{ s}$.

Le diagramme de la figure ci-dessous représente le mouvement de S et d'un point M_0 , situé à une distance x_0 de la source S, en fonction du temps.



- 1°) a- Déterminer la valeur de la distance x_0 .
 b- Calculer la valeur de la longueur d'onde λ .
 c- Etablir l'équation horaire du mouvement du point S et en déduire celle de M_0 .
 d- Comparer les mouvements de S et M_0 .
- 2°) a- Représenter graphiquement la coupe de la surface d'eau par un plan vertical passant par S à l'instant de date $t_1 = 50 \text{ ms}$.
 b- En déduire, à cet instant t_1 , la position des points de la surface de l'eau vibrant en opposition de phase par rapport à M_0 .
- 3°) Quelles sont les observations à noter lorsqu'on éclaire la surface de l'eau par une lumière stroboscopique de fréquence :
 a- $N_e = 50 \text{ Hz}$.
 b- $N_e = 49 \text{ Hz}$.

Dans le premier cas, interpréter la forme des rides à la surface de l'eau.

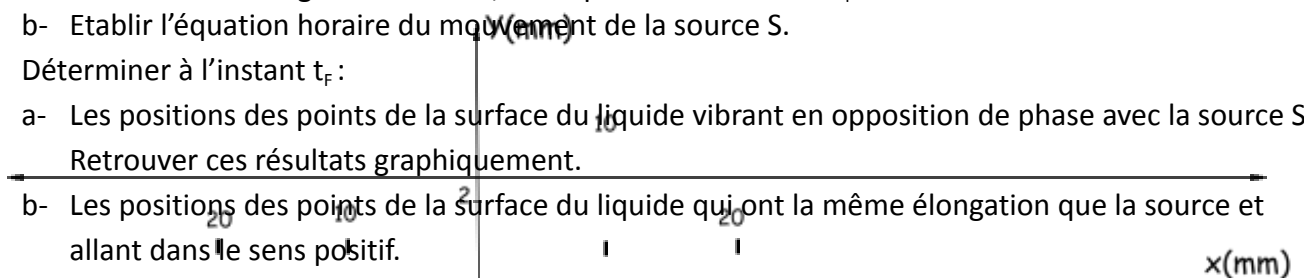
-2-

Exercice 4:

Une source ponctuelle S produit en un point de la surface libre de l'eau d'une cuve à onde des oscillations sinusoïdales verticales d'amplitude a et de fréquence N . la célérité de l'onde est $v = 0,4 \text{ m.s}^{-1}$. La source S débute son mouvement à $t = 0 \text{ s}$.

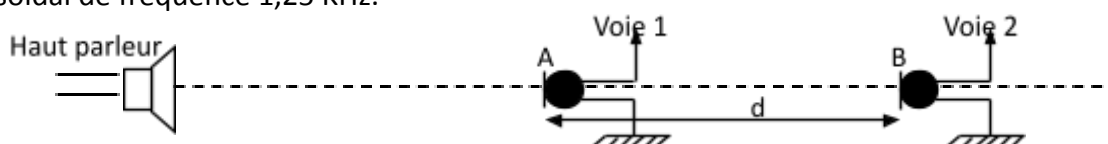
Une coupe de la surface de l'eau par un plan vertical passant par S à l'instant t_f est représentée par la figure ci-dessous:

- 1°) a- Déterminer la longueur d'onde λ , la fréquence N et la date t_f .
 b- Etablir l'équation horaire du mouvement de la source S.
- 2°) Déterminer à l'instant t_f :
 a- Les positions des points de la surface du liquide vibrant en opposition de phase avec la source S. Retrouver ces résultats graphiquement.
 b- Les positions des points de la surface du liquide qui ont la même élongation que la source et allant dans le sens positif.
- 3°) Soit un point M_1 de la surface de l'eau se trouvant à une distance $x_1 = 45 \text{ mm}$ de S.
 a- Etablir l'équation du mouvement du point M_1 .
 b- Déterminer la valeur algébrique de la vitesse du point M_1 aux instants $t_1 = 6.10^{-2} \text{ s}$ et $t_2 = 15,75.10^{-2} \text{ s}$



Exercice 5:

Deux microphones A et B, distants de d , sont placés dans l'axe d'un haut parleur émettant un son sinusoïdal de fréquence $1,25 \text{ KHz}$.



Les microphones sont connectés respectivement aux voies 1 et 2 d'un oscilloscope dont les deux voies sont réglables sur la même sensibilité verticale (voir figure).

- 1°) Indiquer la voie correspondant à chaque courbe de l'oscillogramme ci-contre. Justifier la réponse.
- 2°) Quelle est parmi, les valeurs suivantes, la base de temps de l'oscilloscope :
1 ms/div ; 500 μ s/div ; 100 μ s/div. Justifier.
- 3°) Comparer l'état vibratoire des deux points où sont placés les microphones.
- 4°) La distance entre les deux microphones est $d = 27,2$ cm. Est-ce cohérent avec la réponse précédente ?
- 5°) Sans déplacer le dispositif, on divise par deux la fréquence f du son émis par le haut parleur. Parmi les propositions suivantes, indiquer les affirmations exactes en justifiant :
 - a- La période est divisée par deux.
 - b- La période est doublée.
 - c- La longueur d'onde est divisée par deux.
 - d- La longueur d'onde est doublée.
 - e- Les points où sont situés les microphones vibrent en phase.
 - f- Les points où sont situés les microphones vibrent en opposition de phase.

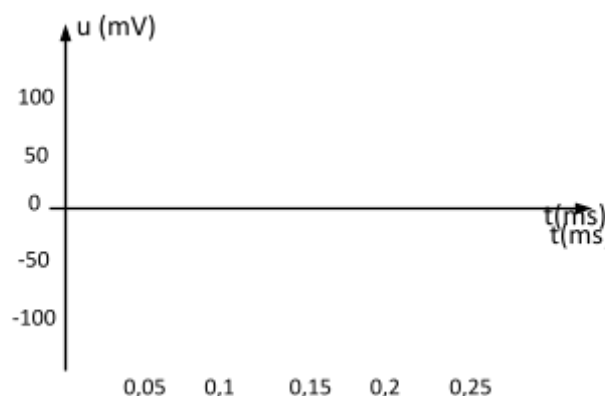
Donnée : la célérité du son dans l'air est $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

Exercice 6:

Un haut parleur excité par un générateur B.F émet des sons de fréquence réglable. Un microphone placé à une distance x du HP est relié à la voie 2 d'un oscilloscope. La voie 1 étant reliée au G.B.F. On obtient sur l'écran de l'oscilloscope les courbes de la figure ci-contre.

Voie 1

Voie 2



- 1°) Déterminer la fréquence N ainsi que le déphasage entre les deux courbes.
- 2°) On augmente progressivement la distance x entre le microphone et le HP. Pour deux positions successives, repérées par x_1 et x_2 telles que $x_2 - x_1 = 6,8$ cm, on obtient les deux courbes en phase. En déduire :
 - a- La longueur d'onde λ du son émis par le HP.
 - b- La célérité C de ce son.
- 3°) a- Comment peut-on vérifier expérimentalement que l'onde sonore est une onde sphérique.
b- En un point M situé à la distance $x = 20$ cm, on place le microphone. Pour quelles valeurs de la fréquence, les vibrations du HP et du microphone sont-elles en phase ?

SERIE 1-CORRECTION	SERIE ONDE MECANIQUE PROGRESSIVE	4eme sc exp
		Prof : BOUSSADA ATEF

Exercice n°1:

4

- 1) La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde pendant une période T du mouvement de la source.

2) En lumière ordinaire, on observe de rides circulaires centrés en O et dont les rayons augmentent progressivement.

3) a. Pour $N_e = 25 \text{ Hz}$: $\frac{T_e}{T} = \frac{N}{N_e} = \frac{50}{25} = 2$ donc $T_e = 2T$: entre deux éclairs consécutifs, l'onde

progressive de 2λ et chaque ride prend exactement la place d'une autre ride et on observe des rides circulaires centrées en O immobiles.

b. Pour $N_e = 26 \text{ Hz}$: $\frac{T_e}{T} = \frac{N}{N_e} = \frac{50}{26} = 1,92$ donc $T_e = 1,92T$ légèrement inférieure à $2T$: entre deux

éclairs consécutifs, l'onde progresse d'un peu moins de 2λ et on observe des rides circulaires qui converge au ralenti vers O (mouvement ralenti dans le sens inverse).

4) a. La distance séparant la ride d'ordre n de la ride d'ordre n+4 est $\Delta r = 4\lambda$ donc $\lambda = \frac{\Delta r}{4}$ sig $\lambda = 8.10^{-3} \text{ m}$.

b. $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot N = 8.10^{-3} \cdot 50$ sig $v = 0,4 \text{ m.s}^{-1}$.

5) a. D'après le principe de propagation $y_M(t) = y_s(t - \theta) = a \sin(\frac{2\pi}{T}(t - \theta) + \phi_0)$

$$Y(t, x) = 2.10^{-3} \sin(100\pi t - \frac{2\pi}{\lambda} x)$$

A la date $t_1 = 5.10^{-2} \text{ s} = 2,5 T$ l'onde a progressé d'une distance $x_1 = v \cdot t_1 = v \cdot 2,5 T = 2,5 \lambda$

$$y_{t_1}(x) = 2.10^{-3} \sin(\frac{2\pi}{T} \cdot 2,5 T - \frac{2\pi}{\lambda} x) = 2.10^{-3} \sin(\pi - \frac{2\pi}{\lambda} x) = 2.10^{-3} \sin(\frac{2\pi}{\lambda} x) \quad \forall x \leq 2,5 \lambda.$$

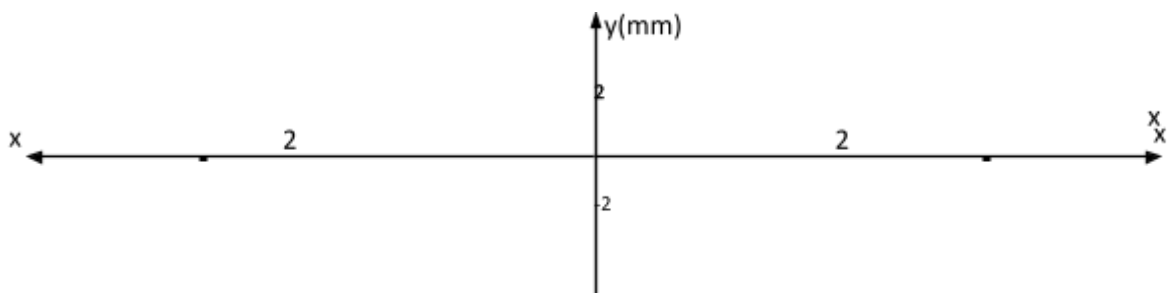
$$y_{t_1}(x) = 2.10^{-3} \text{ donc } 2.10^{-3} \sin(\frac{2\pi}{\lambda} x) = 2.10^{-3} \text{ donc } \sin(\frac{2\pi}{\lambda} x) = 1 \text{ alors } \frac{2\pi}{\lambda} x = \frac{\pi}{2} + 2k\pi.$$

$$\text{d'où } x = \frac{\lambda}{4} + k\lambda \quad \text{or} \quad 0 \leq x \leq 2,5 \lambda \text{ donc } 0 \leq \frac{\lambda}{4} + k\lambda \leq 2,5 \lambda \text{ sig } 0 \leq k \leq 2,25$$

K	0	1	2
x	$\frac{\lambda}{4} = 2 \text{ mm}$	$\frac{5\lambda}{4} = 10 \text{ mm}$	$\frac{9\lambda}{4} = 18 \text{ mm}$

L'ensemble des points recherchés forme trois cercles de centre O et de rayons respectifs 2 mm, 10 mm et 18 mm.

b.



6) $OM_1 = x_1 = 12 \text{ mm} = 1,5 \lambda$ donc M_1 commence à vibrer à $t_{M_1} = \frac{x_1}{v} = \frac{1,5}{v} = 1,5 T$

$$y_{M_1}(t) = 2.10^{-3} \sin(100\pi t - \frac{2\pi}{\lambda} x_1) = 2.10^{-3} \sin(100\pi t + \pi) \quad \forall t \geq 1,5 T$$

$$v_{M_1}(t) = \frac{dy_{M_1}}{dt} = 0,2\pi \cos(100\pi t + \pi) \quad \forall t \geq 1,5 T$$

$$\text{A } t = 5.10^{-2} \text{ s} = 2,5 T \geq 1,5 T \quad y_{M_1}(t) = 0 \text{ et } v_{M_1}(t) = 0,2\pi \text{ m.s}^{-1} > 0.$$

Les points M ayant l'élongation nulle et une vitesse négative à la date t_1 , vibrent en opposition de phase par rapport à M_1 donc $x - x_{M_1} = \frac{\lambda}{2} + k\lambda$ donc $x = 2\lambda + k\lambda$.

alors Or $0 \leq x \leq 2,5\lambda$ donc $0 \leq 2\lambda + k\lambda \leq 2,5\lambda$ sig $-2 \leq k \leq 0,5$

K	-2	-1	0
x	0	$\lambda = 8 \text{ mm}$	$2\lambda = 16 \text{ mm}$

L'ensemble des points qui répondent à la question forme, en plus du point O, deux cercles de centre O et de rayons respectifs 8 mm et 16 mm.

2^{ème} méthode : $\{y_{t_1}(x) = 0 \frac{dy(t,x)}{dt} \big|_{t_1} \text{ sig } \{2 \cdot 10^{-3} \sin\left(-\frac{2\pi}{\lambda} x\right) = 0 \text{ a } \cos\left(-\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \neq 0$

sig $\{\sin\left(-\frac{2\pi}{\lambda} x\right) = 0 \text{ cos}\left(-\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \neq 0$

donc $-\frac{2\pi}{\lambda} x = \pm 2k\pi$ alors $x = k\lambda$.

or $0 \leq x \leq 2,5\lambda$ donc $0 \leq k\lambda \leq 2,5\lambda$ sig $0 \leq k \leq 2,5$ et on retrouve le résultat.

Exercice n°3:

1) a. Le point M_0 commence à vibrer après un retard $\theta_0 = t_0 - t_s = t_0 = 2,25 T = \frac{2,25}{N}$ $\theta_0 =$

$4,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$ donc $x_0 = v \cdot \theta_0 = 0,5 \cdot 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 2,25 \text{ cm}$.

b. $\lambda = v \cdot T = \frac{v}{N} = \frac{0,5}{50} = 10^{-2} \text{ m}$.

c. $y_s(t) = a \sin(\omega t + \phi_s) \quad \forall t \geq 0$

avec : $a = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $\omega = 2\pi N = 100\pi \text{ rad.s}^{-1}$

à $t = 0 \text{ s}$ $\{y_s = 0 \frac{dy_s}{dt} > 0 \text{ donc } \{a \sin(\phi_s) = 0 \text{ a } \omega \cos(\phi_s) > 0 \text{ d'où } \phi_s = 0 \text{ rad.}$

et par suite

$$y_s(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(100 t) \quad t \geq 0$$

M_0 reprend le mouvement de S avec un retard $\theta_0 = t_0 - t_s = t_0 = 2,25 T$

$y_{M_0}(t) = a \sin(\omega t + \phi_{M_0}) \quad \forall t \geq 2,25 T$.

à $t = 2,5 T$ $y_{M_0}(t) = a \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot 2,5 T + \phi_{M_0}\right) = a$ donc $\sin(5\pi + \phi_{M_0}) = 1$ d'où $5\pi + \phi_{M_0} = \frac{\pi}{2}$ sig $\phi_{M_0} = -$

$\frac{\pi}{2} \text{ rad.}$

et par suite

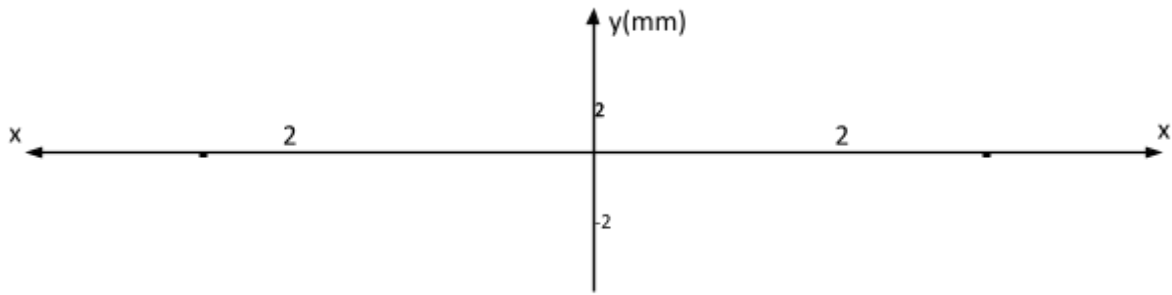
$$y_{M_0}(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(100 t - \frac{\pi}{2}) \quad t \geq 2,25 T$$

d. $\phi_{M_0} - \phi_s = -\frac{\pi}{2}$ donc M_0 vibre en quadrature retard par rapport à S.

2) a. $t_1 = 50 \text{ ms} = 2,5 T$: l'onde progresse de $x_f = 2,5 \lambda$.

$y_{t_1}(x) = a \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot 2,5 T - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x + \phi_s\right)$ donc

$$y_{t_1}(x) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(200 x - \frac{\pi}{2})$$



b. D'après la sinusoïde des temps du point M_0 , à la date $t_1 = 50 \text{ ms} = 2,5 T$, M_0 prend une élongation maximale donc l'ensemble des points vibrant en opposition avec M_0 ont une élongation minimale alors $y_{t_1}(x) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(200\pi x) = -2 \cdot 10^{-3}$

$$\sin(200\pi x) = -1 \Rightarrow x = -\frac{\pi}{2} + 2k\pi \text{ donc } x = -\frac{\lambda}{4} + k\lambda$$

$$\text{or } 0 \leq x \leq 2,5\lambda \text{ donc } 0 \leq -\frac{\lambda}{4} + k\lambda \leq 2,5\lambda \Rightarrow 0,25 \leq k \leq 2,75 \text{ donc } k \in \{1, 2\}$$

les points de la surface de l'eau qui vibrent en opposition de phase avec M_0 à l'instant t_1 forment deux cercles de centre S et de rayons respectifs $\frac{3}{4}\lambda$ et $\frac{7}{4}\lambda$.

3) a. $N_e = 50 \text{ Hz} = N$ donc $T_e = T$: on observe l'immobilité apparente de rides circulaires.

b. $N_e = 49 \text{ Hz}$ légèrement inférieure à N donc T_e légèrement supérieure à T : on observe un mouvement ralenti de rides circulaires dans le sens direct.

Interprétation : pour $N_e = N$, $T_e = T$: entre deux éclairs consécutifs, l'onde progresse réellement de λ et chaque ride prend exactement la place de la ride suivante ce qui donne l'aspect immobile de la surface de l'eau.

Exercice n°4:

1) a. D'après la courbe : $\lambda = 12 \text{ mm} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

$$N = \frac{v}{\lambda} = \frac{0,4}{12 \cdot 10^{-3}} = 33,34 \text{ Hz} \left(\frac{100}{3} \right).$$

$$t_F = \frac{x_F}{c} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{0,4} = 6,25 \cdot 10^{-2} \text{ s. (ou bien } x_F = \frac{25}{12} \text{ donc } t_F = \frac{25 \cdot T}{12})$$

b. $y_s(t) = a \sin(\omega t + \phi_s) \quad \forall t \geq 0$

$$\text{avec : } a = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m ; } \omega = 2\pi N = \frac{200}{3} \pi \text{ rad.s}^{-1}$$

Le front d'onde est un creux donc S a commencer à vibrer de 0 en allant vers le bas donc $\phi_s = \pi$.
et par suite

$$y_s(t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin\left(\frac{200}{3} \pi t + \pi\right)$$

2) a. M vibre en opposition de phase avec S alors $\phi_M - \phi_S = \pi + 2k\pi$

$$\text{donc } \frac{2}{\lambda} x = \pi + 2k\pi \Rightarrow x = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad \text{or } 0 \leq x \leq \frac{25}{12} \lambda \text{ donc } -0,5 \leq k \leq 1,58$$

L'ensemble des points à chercher forme deux cercles de centre S et de rayons respectifs : $r_1 = \frac{\lambda}{2} = 6 \text{ mm}$ et $r_2 = \frac{3}{2} \lambda = 18 \text{ mm}$.

Graphiquement : on cherche les points qui une élongation $y = -y_s$ et allant dans le sens positif (car S passe dans le sens négatif). On trouve sur la coupe 4 points (2 de chaque direction) ce qui correspond à deux cercles.

b. $\{y_M(t) = y_S(t_F) \frac{dy_M}{dt} > 0$ graphiquement on trouve deux points dans chaque direction de propagation ce qui donne deux cercles de centre S et de rayons respectifs 8 mm et 20 mm.

3) a. $x_1 = 45 \text{ mm} = 3,75 \lambda$:

M_1 commence à vibrer à l'instant $t_1 = \theta_1 + t_s = \theta_1 = \frac{x_1}{c} = \frac{3,75}{c} = 3,75 T$.

$$y_{M_1}(t) = a \sin\left(\frac{200}{3} t - \frac{2}{3} \cdot 3,75 \lambda + \pi\right) = 2 \cdot 10^{-3} \sin\left(\frac{200}{3} t - \frac{2}{3}\right) \quad \forall t \geq 3,75 T.$$

b. à $t_1 = 6 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 2T < 3,75 T$: M_1 n'a pas encore commencé à vibrer et par suite $v_{M_1} = 0$

à $t_2 = 15,75 \cdot 10^{-2} = 5,25 T > 3,75 T$

$$\text{donc } v_{M_1}(t_2) = \frac{dy_{M_1}}{dt} \Big|_{t=t_2} = 2 \cdot 10^{-3} \frac{200}{3} \cdot \cos\left(\frac{2}{3} \cdot 5,25 T - \frac{2}{3}\right) = \frac{0,4}{3} \text{ m.s}^{-1}.$$

Exercice n°5:

1) Le microphone A (relié à la voie 1 de l'oscilloscope) reçoit un son plus intense que le microphone B car il est plus proche du haut parleur. La courbe I, d'amplitude plus importante que la courbe II, correspond donc à la voie 1. Par conséquent, la courbe II est celle de la voie 2.

2) La fréquence de l'onde est $f = 1250 \text{ Hz}$ donc $T = \frac{1}{f} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 800 \mu\text{s}$.

Sur l'écran, une période occupe 8 divisions, donc la base de temps  vaut $100 \mu\text{s}/\text{div}$.

3) Un maximum de la courbe I correspond à un maximum de la courbe II donc les deux points A et B où sont situés les microphones vibrent en phase.

4) $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{1250} = 0,272 \text{ m} = 27,2 \text{ cm} = d$ donc normale de constater que les deux points vibrent en phase.

$T = 800 \mu\text{s}$

5) La fréquence est divisée par deux donc la période $T = \frac{1}{f}$ et la longueur d'onde $\lambda = \frac{v}{f}$ (qui sont inversement proportionnelles à la fréquence) sont doublées (**a.** et **c.** fausses mais **b.** et **d.** exactes) : $T = 1,6 \text{ ms}$ et $\lambda = 54,4 \text{ cm}$.

L'onde est sinusoïdale et les points sont maintenant distants d'une demi longueur d'onde : $d = 27,2 \text{ cm} = \frac{\lambda}{2}$ donc les deux points vibrent en opposition de phase (**e.** fausse et **f.** exacte).

Exercice n°6:

1) $N = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 5000 \text{ Hz}$.

Valeur du déphasage : $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = \omega \cdot \Delta t$ car u_1 (voie1) est en avance par rapport à u_2 (voie2). $\Delta\phi = \frac{2}{T} \cdot \frac{4T}{12} = \frac{2}{3} \text{ rad}$.

2) Les points qui vibrent en phases sont distants de $k \cdot \lambda$. Or les positions d'abscisses x_1 et x_2 sont successives d'où $x_2 - x_1 = \lambda$ donc $\lambda = 6,8 \text{ cm}$.

$$\lambda = v \cdot T \text{ donc } v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot N = 6,8 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^3 = 340 \text{ m.s}^{-1}.$$

3. a. On peut déplacer le microphone sur des calottes sphériques de différents rayons et on constate que les points de la même calotte sphérique ont le même état vibratoire.

b. Les vibrations du HP et du microphone sont en phase si $x = k \lambda = k \cdot \frac{v}{N}$

$$\text{donc } N = k \cdot \frac{v}{x} = k \cdot \frac{340}{20 \cdot 10^{-2}} = 1,7 \cdot 10^3 k \text{ avec } k \in \mathbb{N}^* \quad |$$

