

Série n°3 : onde –interaction onde matière

Exercice n°1 :

On dispose d'une cuve à ondes remplie d'eau et d'une lame vibrante (L) qui produit, à la surface de la nappe d'eau des ondes progressives, rectilignes, sinusoïdales et de fréquence N réglable. On suppose qu'il n'y a, ni amortissement, ni réflexion des ondes aux bords de la cuve.

I- La fréquence de la lame vibrante est réglée à la valeur $N_1 = 11$ Hz.

En éclairage stroboscopique et pour une fréquence N_e des éclairs, égale à 11 Hz, la surface de la nappe d'eau présente une série de rides équidistantes, rectilignes et immobiles comme le montre la figure 1.

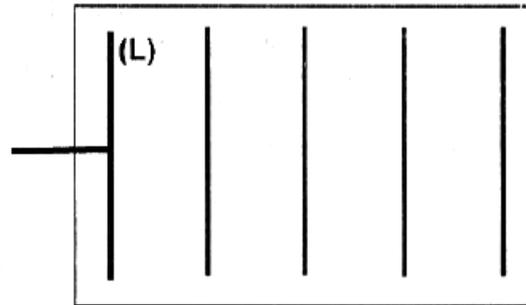


Fig.1

1) a- Définir la longueur d'onde λ .

b- Sachant que le schéma de la figure 1 est réalisé à l'échelle, déterminer la valeur de la longueur d'onde λ_1 de l'onde créée à la surface de la nappe d'eau. En déduire la valeur de la célérité v_1 de l'onde.

2) On règle la fréquence N de la lame à la valeur $N_2 = 20$ Hz et on mesure la distance d_2 séparant 5 rides successives. On obtient une valeur de 3 cm.

a- Calculer, dans ce cas, la valeur de la longueur d'onde λ_2 et la célérité v_2 de l'onde.

b- Justifier que l'eau est un exemple de milieu dispersif.

3) Sachant que l'élongation d'un point A, appartenant au sommet de la première ride, comptée à partir de la lame (L) s'écrit : $y_A(t) = 4 \cdot 10^{-3} \sin(40\pi t)$, déterminer, en le justifiant, l'élongation $y_B(t)$ d'un point B appartenant au sommet de la troisième ride.

II- Un obstacle muni d'une fente (F) de largeur $a = 8$ mm est placé parallèle à la lame e : à une distance d de celle-ci. Pour une fréquence $N_2 = 20$ Hz et un instant donné, la forme des rides de l'onde qui se propage à la surface de la nappe d'eau avant la traversée de la fente (F) est donnée par la figure 2.

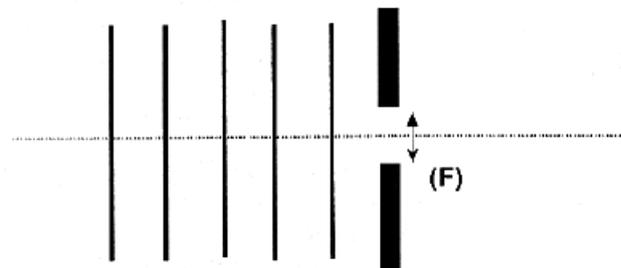


Fig.2

1) a- Préciser l'ordre de grandeur de λ avec lequel l'onde subit une diffraction au niveau de (F).

b- En déduire, s'il y a diffraction au niveau de (F) à la fréquence N_2 de la lame vibrante.

c- Dans l'affirmative, représenter, sur la figure 1 de la feuille annexe (page 5/5 à compléter et à remettre avec la copie), la forme des rides au-delà de la fente (F).

2) a- On fixe de nouveau, la fréquence N de la lame vibrante à la valeur $N_1 = 11$ Hz.

Représenter, à l'échelle, sur la figure 2 de la feuille annexe (page 5/5 à compléter et à remettre avec la copie), la forme des rides avant et après la traversée de la fente (F).

b- Pour une valeur donnée de a , montrer s'il faut diminuer ou bien augmenter la valeur de la longueur d'onde λ pour rendre le phénomène observé plus net.

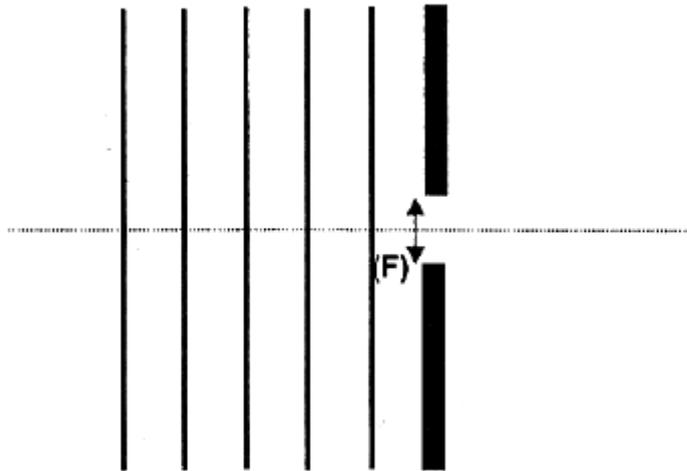


Figure 1

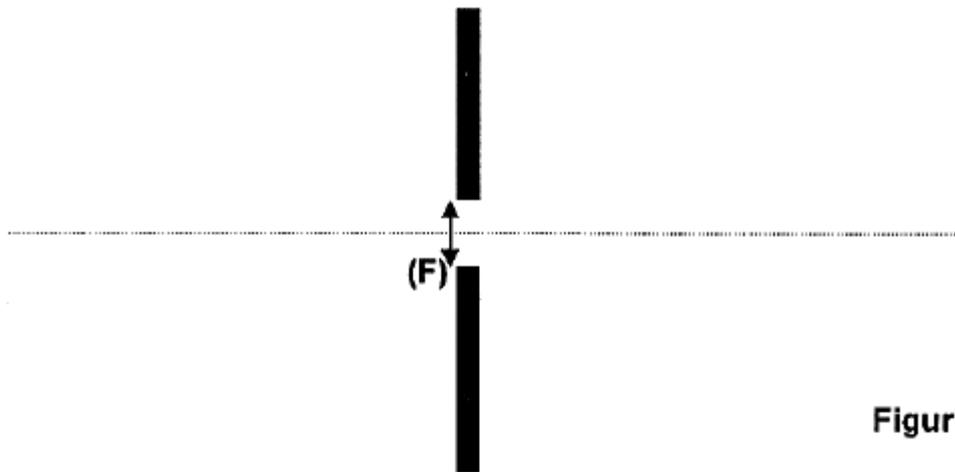


Figure 2

Exercice n°2 :

Une corde élastique de longueur $L = 0,6 \text{ m}$ tendue horizontalement est attachée par son extrémité **S** au bout d'une lame vibrante qui lui communique des vibrations sinusoïdales transversales, d'amplitude $a = 4 \text{ mm}$ et de fréquence N (voir figure 5). Une onde progressive transversale de même amplitude a se propage le long de la corde à partir de **S** avec la célérité $v = 10 \text{ m.s}^{-1}$.

On suppose qu'il n'y a ni amortissement ni réflexion des ondes.

Le mouvement de **S** débute à l'instant $t = 0$ et admet comme équation horaire : $y_s(t) = 4 \cdot 10^{-3} \sin(200\pi t + \pi)$.

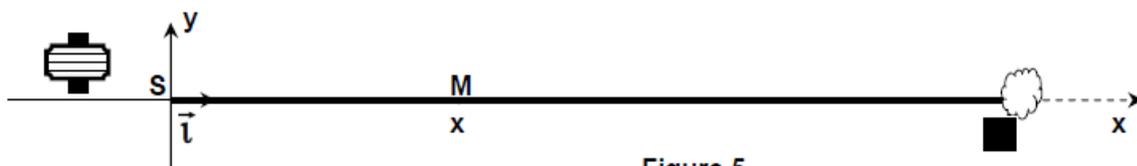


Figure 5

1. Déterminer la valeur de la fréquence N , puis celle de la longueur d'onde λ .
2. a) Soit **M** un point de la corde d'abscisse $x = SM$ dans le repère (S, \vec{i}) .
Établir l'équation horaire du mouvement de ce point.
- b) Montrer que les deux points **A** et **B** de la corde d'abscisses respectives $x_A = 2,5 \text{ cm}$ et $x_B = 22,5 \text{ cm}$ vibrent en phase.

3. L'aspect de la corde à un instant t_1 est représenté sur la **figure 6**.

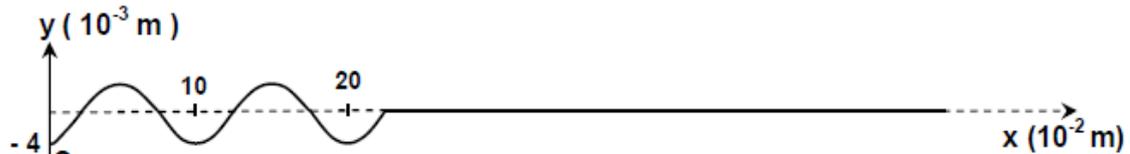


Figure 6

- Déterminer graphiquement la valeur de t_1 .
- Déterminer les positions des points N_i de la corde ayant, à l'instant t_1 , l'élongation $y_{Ni} = \frac{a}{2}$.
- Parmi ces points, déduire celui qui vibre en phase avec le point N_1 d'abscisse $x_1 = 3,33$ cm.

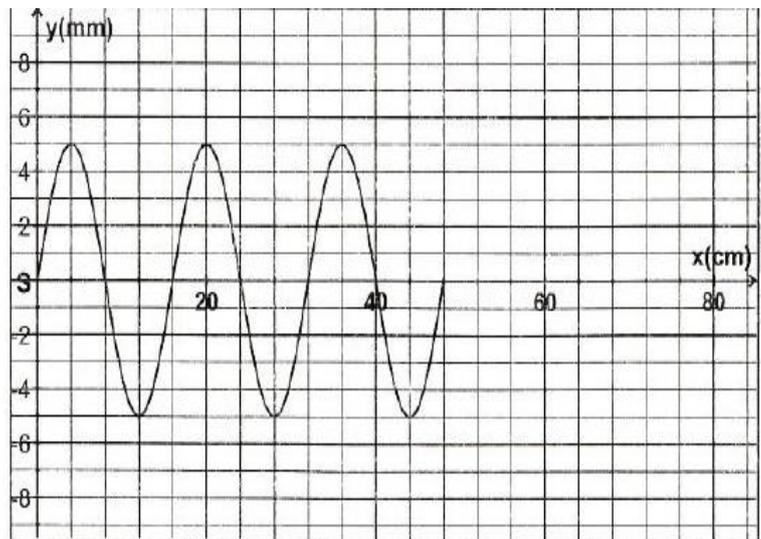
Exercice n°3 :

Une corde élastique de longueur $L = 80$ cm est tendue horizontalement. Son extrémité **S** est liée à une lame vibrante en mouvement sinusoïdal vertical d'équation :

$y_s(t) = a \cdot \sin(\omega t + \varphi_s)$ pour $t \geq 0$. L'autre extrémité est munie d'un dispositif qui empêche la réflexion des ondes.

L'amortissement est supposé nul.

1. L'aspect de la corde à un instant t_0 donné est représenté dans la figure 5.



- Définir la longueur d'onde λ .
- A l'aide de la figure 5 :

- déterminer l'amplitude de vibration des différents points de la corde atteints par l'onde ainsi que la valeur de la longueur d'onde λ .
- montrer que la phase initiale du mouvement de la source est :

$$\varphi_s = \pi \text{ rad.}$$

- Sachant qu'un point M_1 de la corde d'abscisse $x_1 = 24$ cm au repos, est atteint par le front d'onde à l'instant $t_1 = 12$ ms :
 - calculer la célérité de l'onde,
 - en déduire la valeur de la période de vibration de la lame excitatrice.
 - Déterminer en fonction de λ , la distance séparant le point M_1 de la source **S** et en déduire la phase initiale du point M_1 .
 - Ecrire l'équation horaire du mouvement du point M_1 de la corde.
- Déterminer la valeur de l'instant t_0 auquel correspond l'aspect de la corde, représenté dans la figure 5.
 - Déduire de l'aspect de la corde à l'instant t_0 , son aspect à l'instant $t_2 = 36$ ms.

Exercice n°4 :

Une corde élastique assez longue est tendue horizontalement suivant l'axe (Ox) d'un repère (Oxy) . L'extrémité S de cette corde est reliée à un vibreur qui lui impose un mouvement rectiligne sinusoïdal suivant l'axe (Oy) d'équation horaire $y_S(t) = a \sin(2\pi Nt)$, où a représente l'amplitude du mouvement et N la fréquence de vibration. L'onde créée au point S à l'instant $t = 0$ s, se propage le long de la corde avec une célérité v constante. On suppose que la propagation de cette onde s'effectue sans amortissement.

Les courbes (1) et (2) de la figure 3 représentent l'aspect de la corde respectivement aux deux instants t_1 et t_2 tels que $t_2 - t_1 = 30$ ms.

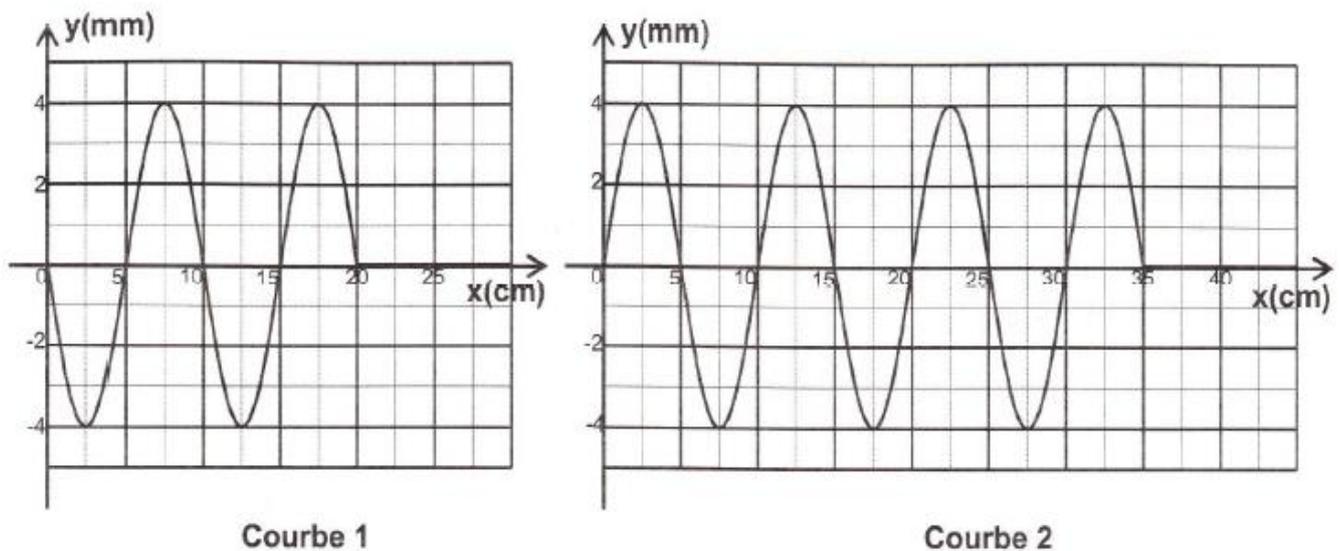


Fig.3

1. En exploitant les courbes (1) et (2), déterminer la valeur de :
 - a) la longueur d'onde λ ,
 - b) la célérité v de l'onde,
 - c) la fréquence N de vibration.
2. On se propose de comparer les vibrations d'un point A d'abscisse $x_A = 17,5$ cm avec celui de S .
 - a) Montrer qu'à l'instant $t_1 = 30$ ms, le point A est encore au repos.
 - b) Etablir l'équation horaire du mouvement du point A et en déduire le déphasage de celui-ci par rapport à S .
 - c) – Tracer le diagramme de $y_S(t)$ et en déduire, dans le même système d'axes, celui de $y_A(t)$.
 - Retrouver graphiquement le déphasage entre A et S .

Exercice n°5 :

Une réglette, fixée à un vibreur, impose à la surface libre de l'eau d'une cuve à ondes des vibrations sinusoïdales verticales d'amplitude a et de fréquence $N = 10 \text{ Hz}$. On suppose qu'il n'y a ni réflexion, ni amortissement d'ondes.

A partir d'une date $t = 0$, des rides rectilignes se propagent à partir d'un point source S de la surface de l'eau, à la célérité v . L'élongation de la source S s'écrit :

$$y_s(t) = a \sin(20\pi t + \varphi_s) \quad , \quad t \geq 0.$$

Le graphe de la **figure 4** représente une coupe transversale, passant par S , de la surface libre de l'eau à une date t_0 .

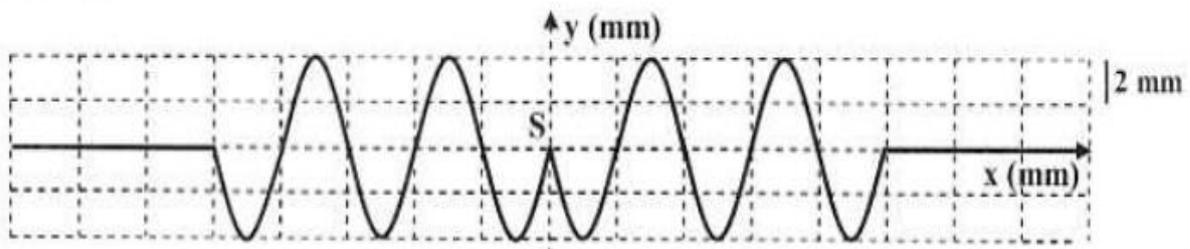


figure 4

- 1) A la date t_0 , l'élongation de tout point M de la surface libre de l'eau, situé au repos à la distance $SM = x$ de S , vérifie l'équation :

$$y_M(x) = a \sin\left(20\pi t_0 + \varphi_s - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) \quad \text{tel que } -x_f \leq x \leq x_f$$

où x_f représente l'abscisse du front d'onde.

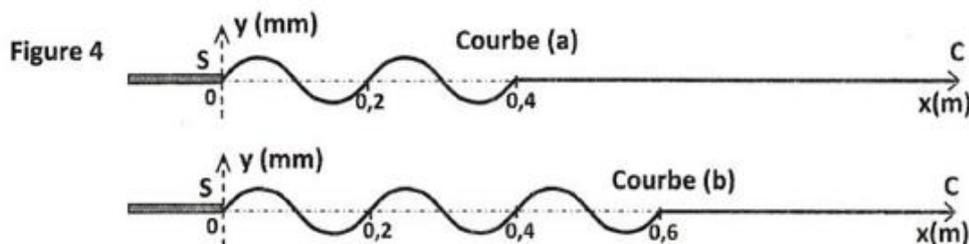
- a- Déterminer la valeur de t_0 .
 - b- Montrer que $\varphi_s = \pi \text{ rad}$.
- 2) A la date t_0 , le front d'onde est situé à une distance $x_f = 45 \text{ mm}$.
- a- Calculer la valeur de longueur d'onde λ .
 - b- En déduire la valeur de la célérité v de propagation.
- 3) On considère les deux points P et N , de la surface de l'eau, repérés, au repos, respectivement par les abscisses $SP = x_P = 18 \text{ mm}$ et $SN = x_N = 22,5 \text{ mm}$.
- a- Déterminer le déphasage entre P et N : $\Delta\varphi = \varphi_P - \varphi_N$.
 - b- Déterminer les abscisses x_i des points M_i qui vibrent, à la date t_0 , en quadrature retard de phase par rapport au point N .

Exercice n°6 :

Considérons une corde élastique SC de longueur $L = SC = 1 \text{ m}$, tendue horizontalement. Son extrémité S est reliée à une lame qui vibre perpendiculairement à la direction SC (Figure 3). Elle est animée d'un mouvement rectiligne sinusoïdal d'amplitude $a = 3 \text{ mm}$, de fréquence N et d'élongation instantanée $y_s = 3 \cdot 10^{-3} \sin(2\pi Nt + \varphi_s)$ exprimée en m. Le mouvement de S débute à l'instant $t = 0$. L'autre extrémité C est reliée à un support fixe à travers une pelote de coton qui empêche toute réflexion d'onde. L'amortissement de l'onde, le long de la corde, est supposé négligeable.



Les courbes (a) et (b) de la figure 4 représentent respectivement les aspects de la corde aux instants t_a et t_b tel que $\Delta t = t_b - t_a = 0,02 \text{ s}$.



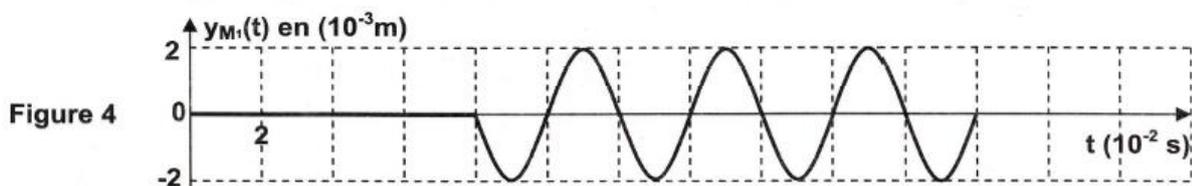
- 1) a- Indiquer le rôle de la pelote de coton.
b- Expliquer pourquoi cette onde est dite transversale.
- 2) a- Déterminer graphiquement la valeur de la longueur d'onde λ .
b- Montrer que la célérité de l'onde est $v = 10 \text{ m.s}^{-1}$. En déduire la valeur de la fréquence N de la lame vibrante.
c- Déterminer les instants t_a et t_b .
- 3) a- Etablir l'équation horaire du mouvement d'un point M de la corde tel que $SM = x$ au repos.
b- Montrer que la phase $\varphi_s = \pi \text{ rad}$.
c- Préciser, en le justifiant, la valeur de l'instant t_f à partir duquel l'onde atteint toute la corde.
d- Déterminer, à cet instant t_f , le nombre et les positions des points P_i de la corde qui vibrent en quadrature retard de phase par rapport à la source S.

Exercice n°7 :

En un point S, de la surface d'une nappe d'eau d'une cuve à ondes, une source ponctuelle produit des vibrations sinusoïdales verticales d'amplitude $a = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ et de fréquence N.

A l'instant $t = 0$, le point S débute son mouvement en partant de l'état de repos. La sinusoïde du temps traduisant l'évolution de l'élongation d'un point M_1 de la surface de l'eau située à la distance $x_1 = 4 \text{ cm}$ de S, lorsque M_1 et S sont au repos, est donnée par la figure 4.

La réflexion et l'amortissement des ondes sont supposés négligeables.



- 1) a- Déterminer, à partir du graphe, la fréquence N et montrer que la célérité de propagation de l'onde est $v = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$.
b- Définir la longueur d'onde λ . Calculer sa valeur.

- 2) a- Montrer que les points M_1 et S , de la surface de l'eau, vibrent en phase.
 b- Dédurre que l'équation horaire du mouvement de la source S s'écrit :
 $y_s(t) = 2.10^{-3} \cdot \sin(50\pi t + \pi)$, exprimée en m.
- 3) a- Etablir l'équation horaire du mouvement d'un point M de la surface de l'eau situé, au repos, à une distance $SM = x$ de S .
 b- Représenter une coupe de la surface de l'eau, à l'instant $t_0 = 8.10^{-2}$ s, suivant un plan vertical passant par S .
- 4) a- Déterminer les lieux des points, de la surface de l'eau, qui vibrent en opposition de phase avec S à l'instant t_0 .
 b- Préciser, en le justifiant, si les points qui sont en opposition de phase avec S , à l'instant t_0 , vont vibrer, juste après t_0 , verticalement dans le sens ascendant supposé positif, ou bien dans le sens descendant.

Exercice n°7 :

Un vibreur, relié à une réglette, produit une onde rectiligne, progressive et sinusoïdale, qui se propage sur la surface libre de l'eau d'une cuve à ondes. Pour une fréquence N du vibreur et à un instant t donné, on schématise sur la figure 6 les lignes de crêtes d'amplitude maximale qui se forment à la surface de l'eau.

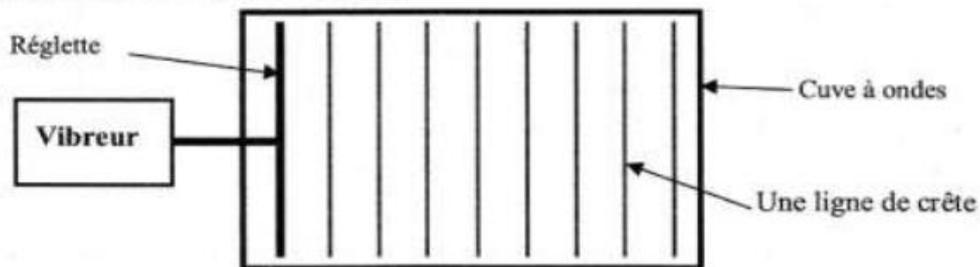


Figure 6

- 1 - a- Décrire l'aspect de la surface libre de l'eau de la cuve à ondes en lumière ordinaire et en lumière stroboscopique pour une fréquence $N_e = N$.
 b- Proposer deux méthodes pratiques qui permettent de changer la valeur de la longueur d'onde λ de l'onde qui se propage à la surface de l'eau.
- 2- Pour une fréquence N_1 du vibreur égale à **11 Hz**, la distance qui sépare la première ligne de crête d'amplitude maximale de la sixième ligne de crête de même nature est : **70 mm**.
 a- Déterminer la longueur d'onde λ_1 de l'onde qui se propage à la surface de l'eau.
 b- En déduire la célérité v_1 de l'onde.
- 3- Pour une fréquence $N_2 = 17$ **Hz**, la distance qui sépare les deux lignes, successives, de crête d'amplitude maximale est égale à **9 mm**. Calculer la nouvelle célérité v_2 de l'onde.
- 4- Justifier que l'eau est un milieu dispersif.
- 5- On place dans la cuve à ondes une plaque de verre, de façon à délimiter deux zones (Z_1) et (Z_2) où les hauteurs de l'eau sont différentes, comme le montre la figure 7 de la page 6/6. Pour la fréquence N_2 du vibreur, la célérité de l'onde incidente qui se propage dans la zone (Z_2) est $v_2 = 0,12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
 a- Comparer la valeur de la longueur d'onde λ_2 de l'onde incidente avec celle de l'onde transmise λ_2' .
 b- Justifier que les résultats d'une telle expérience ne permettent pas de confirmer que l'eau est un milieu dispersif.

Exercice n°8 :

En un point O de la surface libre de l'eau d'une cuve à ondes, une source ponctuelle S impose, à partir de $t = 0$ s, des oscillations sinusoïdales verticales d'amplitude $a = 2$ mm et de fréquence $N = 20$ Hz.

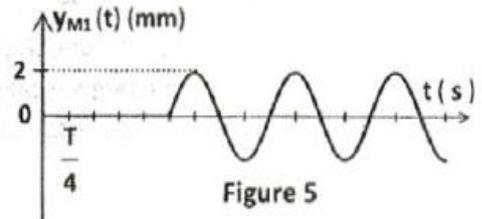
Le mouvement du point O obéit à la loi horaire : $y_O(t) = a \sin(2\pi N t + \varphi_0)$ pour $t \geq 0$ s ; où φ_0 est la phase à $t = 0$ s.

On suppose qu'il n'y a ni réflexion ni amortissement de l'onde au cours de la propagation.

1) Décrire l'aspect de la surface libre de l'eau éclairée en lumière ordinaire.

2) On donne, sur la figure 5, le diagramme du mouvement d'un point M_1 de la surface libre de l'eau situé à la distance $1,25 \cdot 10^{-2}$ m de O . En exploitant la figure 5 :

- déterminer l'équation horaire du mouvement du point M_1 et déduire celle de O ;
- calculer la valeur de la célérité v de l'onde créée à la surface de l'eau ;
- déduire la valeur de la longueur d'onde λ .



3) A l'instant t_1 , l'aspect de la surface libre de l'eau est représenté par la figure 6 ; où les cercles tracés en lignes continues représentent les crêtes et ceux tracés en lignes discontinues représentent les creux.

- Montrer que $t_1 = 16,25 \cdot 10^{-2}$ s.
- En justifiant la réponse, comparer les états vibratoires des points M_2 et M_3 de la surface de l'eau.
- Déterminer les lieux géométriques des points M de la surface libre de l'eau qui vibrent à l'instant t_1 en quadrature avance de phase par rapport au point M_2 .
- Représenter l'ensemble de ces points sur la figure 8 de la page 5/5.

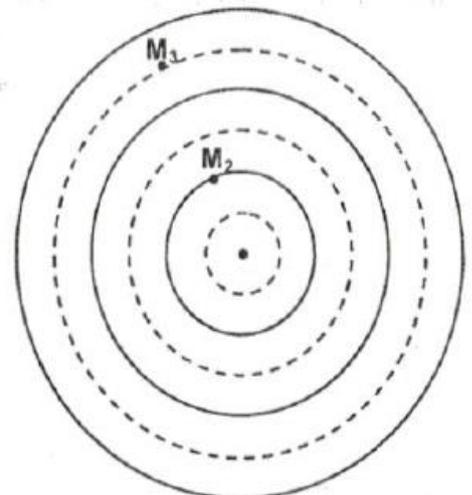


Figure 6

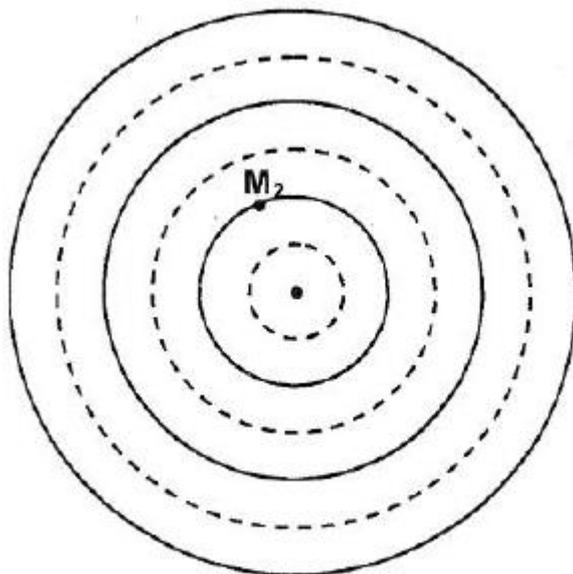


Figure 8