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.

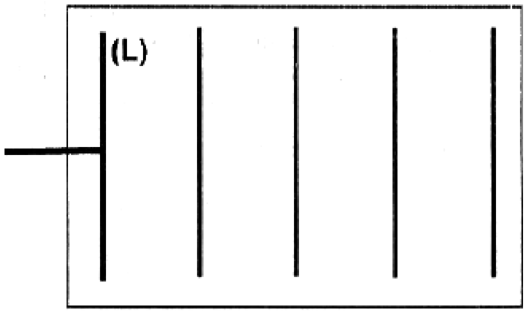


Fig.1

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.

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 : **$y_A(t) = 4.10^{-3}\sin(40\pi t)$**, 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 et 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.

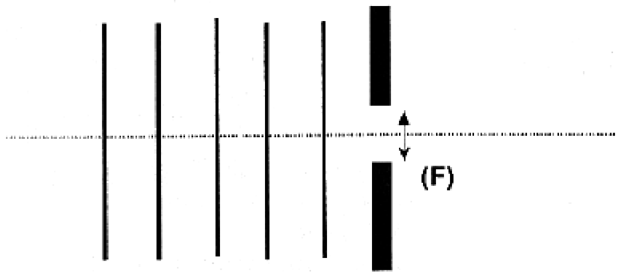


Fig.2

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.

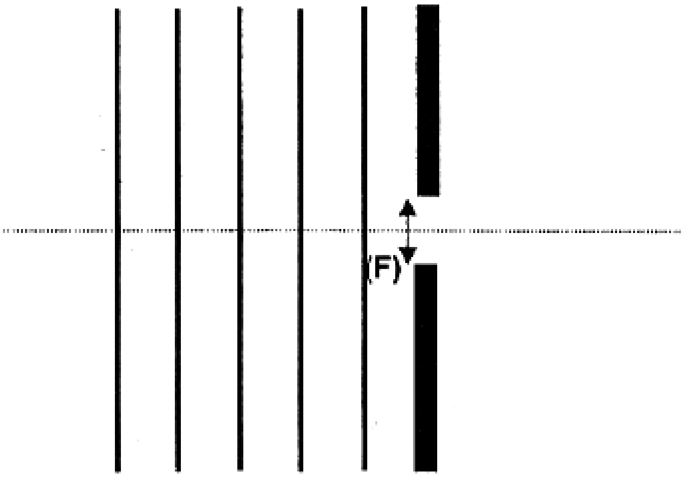


Figure 1

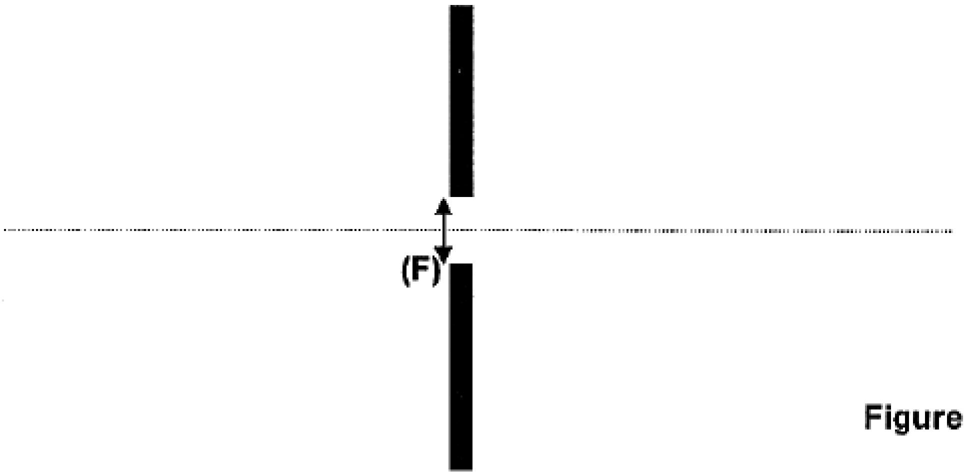


Figure 2

Exercice n°2 :

Une corde élastique de longueur **L = 0,6 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 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 $v = 10\ m.s^{-1}$.

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 : $y_S(t) = 4.10^{-3}\sin(200\pi t + \pi)$.

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 $(S, \vec{\imath})$.
   Etablir l'équation horaire du mouvement de ce point.
   b) Montrer que les deux points **A** et **B** de la corde d'abscisses respectives $x_A = 2,5$ cm et $x_B = 22,5$ cm vibrent en phase.

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

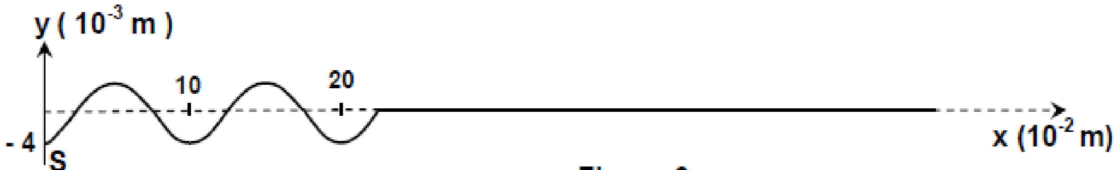


Figure 6

a) Déterminer graphiquement la valeur de t_1.

b) Déterminer les positions des points N_i de la corde ayant, à l'instant t_1, l'élongation $y_{N_i} = \frac{a}{2}$.

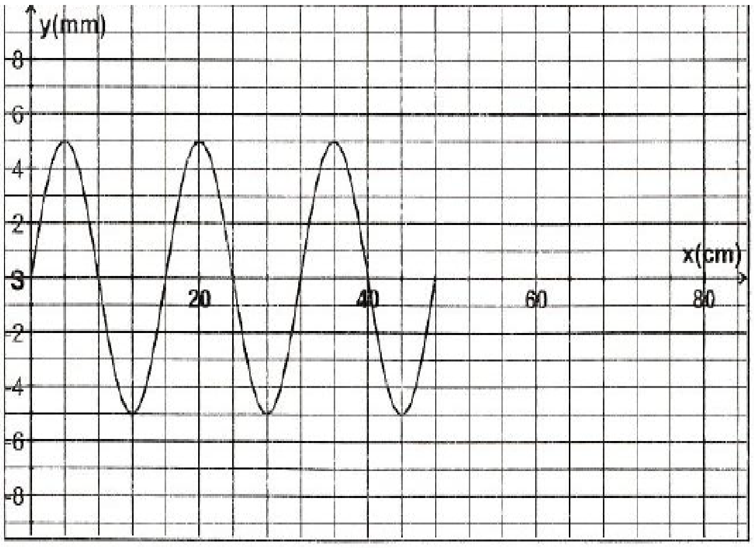
c) Parmi ces points, déduire celui qui vibre en phase avec le point N_1 d'abscisse $x_1 = 3{,}33$ cm.

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 :

$y_s(t) = a.\sin(\omega t + \varphi_s)$ 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_o donné est représenté dans la figure **5**.

   a) Définir la longueur d'onde λ.

   b) 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 :

   $\varphi_s = \pi$ rad.

2. a) 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.

   b) 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.

   c) Ecrire l'équation horaire du mouvement du point M_1 de la corde.

3. a) Déterminer la valeur de l'instant t_o auquel correspond l'aspect de la corde, représenté dans la figure **5**.

   b) Déduire de l'aspect de la corde à l'instant t_o, 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**.

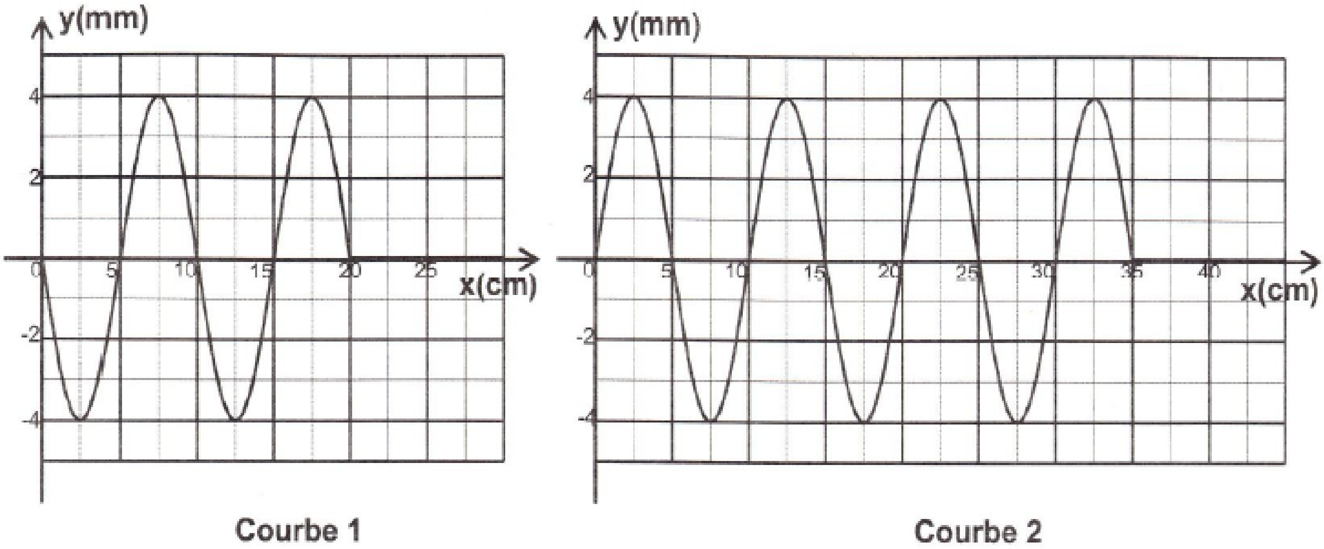


Fig.3

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 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 :

$$y_S(t) = a\sin(20\pi t + \varphi_S)\ ,\ t \geq 0.$$

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.

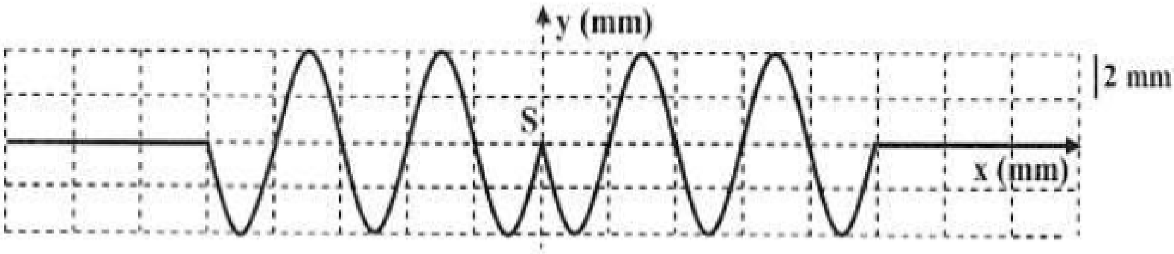


figure 4

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 :

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

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

a- Déterminer la valeur de t_0.

b- Montrer que $\varphi_S = \pi$ **rad**.

2) A la date t_0, le front d'onde est situé à une distance $x_f = 45$ **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 mm** et **SN** = x_N = **22,5 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**.

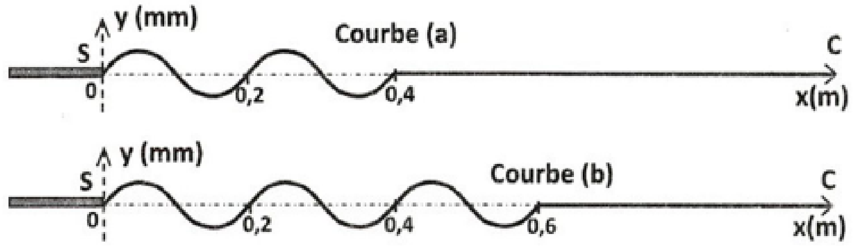
Exercice n°6 :

Considérons une corde élastique SC de longueur **L = SC = 1 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 mm**, de fréquence **N** et d'élongation instantanée $y_S = 3.10^{-3}\sin(2\pi Nt + \varphi_s)$ 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.

Figure 3

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 $\Delta t = t_b - t_a = 0,02$ s.

Figure 4



1) a- Indiquer le rôle de la pelote de coton.
b- Expliquer pourquoi cette onde est dite transversale.

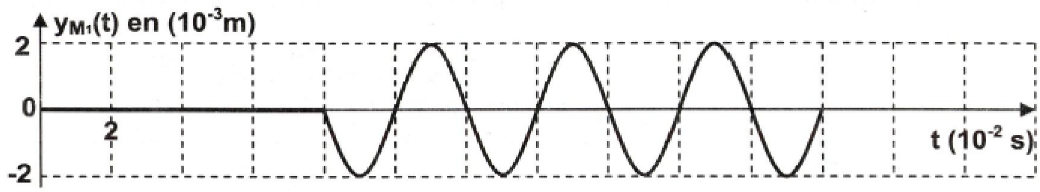
2) a- Déterminer graphiquement la valeur de la longueur d'onde λ .
b- Montrer que la célérité de l'onde est $v = 10\ m.s^{-1}$. En déduire la valeur de la fréquence **N** de la lame vibrante.
c- Déterminer les instants t_a et t_b.

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 $\varphi_s = \pi$ **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 $a = 2.10^{-3}$ **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 $x_1 = 4$ **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.

Figure 4



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

2) a- Montrer que les points M_1 et **S**, de la surface de l'eau, vibrent en phase.

b- Déduire que l'équation horaire du mouvement de la source **S** s'écrit :

$y_S(t) = 2.10^{-3}.\sin(50\pi t + \pi)$, 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.*

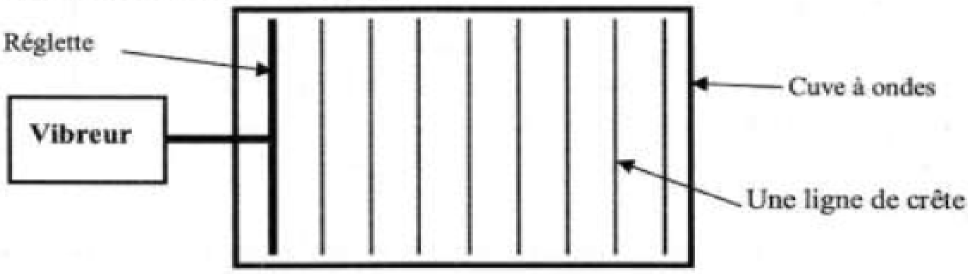


Figure 6

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 $v'_2 = 0{,}12\ m.s^{-1}$.

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 $1{,}25.10^{-2}$ m de **O**. En exploitant la figure 5 :

a – déterminer l'équation horaire du mouvement du point M_1 et déduire celle de **O** ;

b – calculer la valeur de la célérité **v** de l'onde créée à la surface de l'eau ;

c – déduire la valeur de la longueur d'onde **λ**.

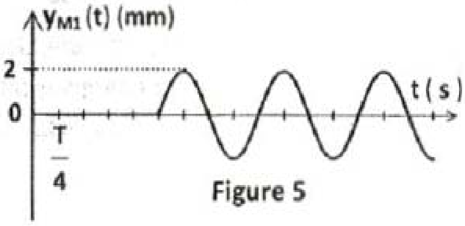


Figure 5

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.

a – Montrer que $t_1 = 16{,}25.10^{-2}$ s.

b – En justifiant la réponse, comparer les états vibratoires des points M_2 et M_3 de la surface de l'eau.

c – 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.

d – Représenter l'ensemble de ces points sur la **figure 8** de la **page 5/5**.

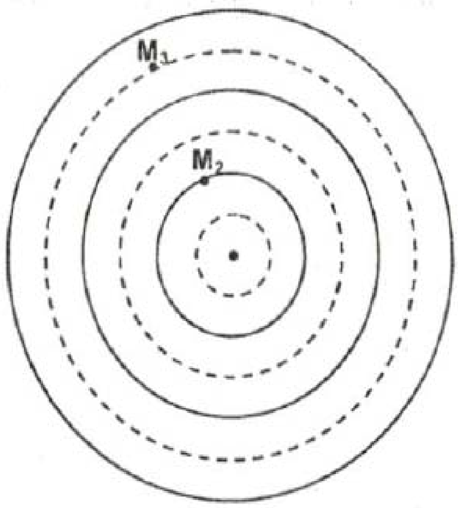


Figure 6

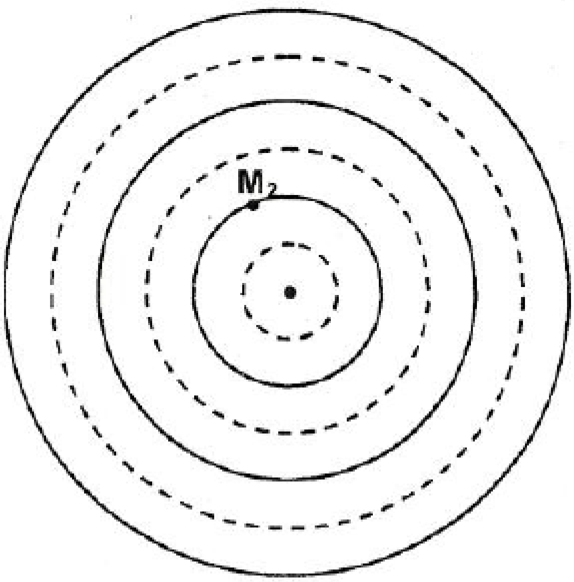


Figure 8