TD : Ondes 1

1 Applications directes du cours

EX0 : Ondes progressives

$$s(x,t) = 5\sin\left(2,4\cdot 10^3\pi t - 7,0\pi x + 0,7\pi\right) \quad (1)$$

1. Donner la période, la fréquence, la pulsation, le nombre d'onde et la longueur d'onde de l'onde.
2. Une onde sinusoıdale se propage dans la direction des x positifs avec la célérité c. En $x = 0$ on a $s(0,t) = S_0 \sin(2\pi t/T)$. Donner l'expression de l'onde pour $s(x,t)$ et tracer l'allure du signal pour $x = \lambda/4$.
3. Une onde sinusoıdale se propage dans la direction des x négatifs avec la célérité c. En t = 0, on a $s(x,0) = S_0 \cos(2\pi x/\lambda)$. Donner l'expression de s(x, t) et tracer l'allure du signal spatial perçu en t = T /4.

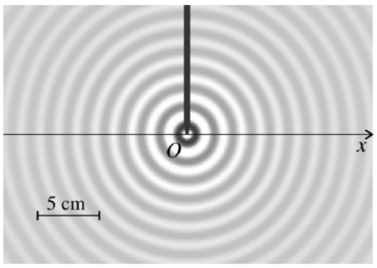
EX1 : Superposition de 2 ondes

Soient deux ondes lumineuses monochromatiques de même longueur d'onde et issues de la même source. Voici trois situations dans lesquelles elles se superposent, correspondant à trois zones d'un écran.

1. Faire un schéma représentant l'intensité lumineuse en fonction de la position x sur l'écran.
2. Attribuer à chaque situation la ou les expressions qui lui conviennent : interférences destructives - interférences constructives - ondes en phase - zone sombre - zone peu éclairée - zone brillante - ondes en quadrature.
3. Dans quelle situation peut-on affirmer que "lumière + lumière = obscurité" ?
4. Qu'entendrait-on dans chacune des trois situations si les ondes étaient sonores ?

<u>note</u> : des ondes sont dites en quadrature si elles sont déphasées de $\frac{\pi}{4}$

EX2 : Cuve à ondes

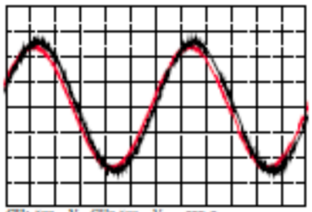


La figure ci-contre représente la surface d'une cuve à ondes éclairée en éclairage stroboscopique bien accordé. L'onde est générée par un vibreur de fréquence $f = 20\,\mathrm{Hz}$. L'image est claire là où la surface de l'eau est convexe (en bosse) et foncée là où elle est concave (en creux). Ainsi, le niveau de gris indique la hauteur d'eau dans la cuve.

1. En mesurant sur la figure, déterminer la longueur d'onde.
2. En déduire la célérité de l'onde.
3. Supposons l'onde harmonique, d'amplitude H. Donner une expression mathématique pour la hauteur $h(x,t)$. Distinguer les cas $x < 0$ et $x > 0$.
4. Expliquer pourquoi l'amplitude H n'est en fait pas constante.

EX3 : Mesure de vitesse de propagation

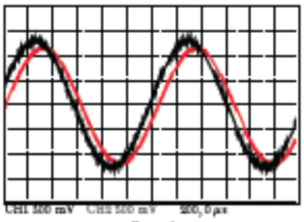
On considère les tensions délivrées par deux microphones : un fixe en O et l'autre mobile en M, captant une onde progressive sinusoïdale émise par un haut-parleur. Lorsque les deux microphones sont placés en O, on observe sur un oscilloscope le signal a.



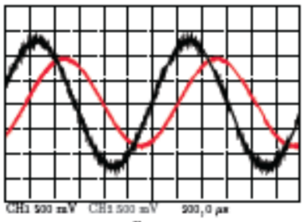
CH1 500 mV CH2 500 mV 200,0 µs
Figure a

1. Quelle est la fréquence f de l'onde ?

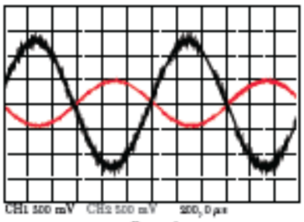
Les figures b, c, d et e correspondent aux positions du point M d'abscisses x_1, x_2, $x_3 = 21$ cm et x_4.



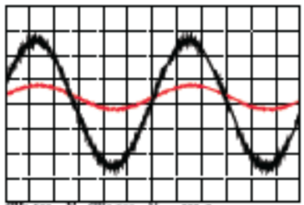
CH1 500 mV CH2 500 mV 200,0 µs
Figure b



CH1 500 mV CH1 500 mV 200,0 µs
Figure c



CH1 500 mV CH2 500 mV 200,0 µs
Figure d



CH1 500 mV CH1 500 mV 200,0 µs
Figure e

2. Quelle est la longueur d'onde de l'onde sonore ?
3. Que vaut la vitesse de propagation c de l'onde sonore ?
4. Déterminer les abscisses x_2 et x_4.

2 Exercices

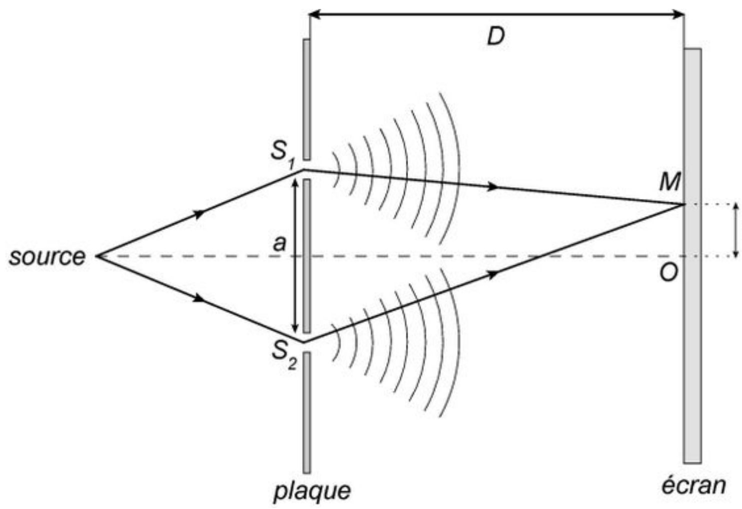
EX4 : Effet Doppler (adaptation CCP)

Un émetteur E émet une onde sonore se propageant à la vitesse c. Cet émetteur se déplace à la vitesse $\vec{v_0} = v_0\overrightarrow{u_x}$. On place un récepteur fixe à la position O. Initialement $OE = l_0$.

1. Faire un schéma du système.
2. En imaginant que l'émetteur émet un bip tous les T, trouver les dates de réception des différents bips par le récepteur.
3. Montrer que le récepteur reçoit les bip tous les T', et exprimer T' en fonction de T, v_0 et c. Ce résultat constitue l'effet Doppler.
4. Commenter le sens physique de l'effet Doppler. Comment se débrouiller pour que la période T' perçue par le récepteur soit plus faible que T.

EX5 : Expérience de Young

Le savant britannique Thomas Young réalisa en 1803 une expérience clé pour mettre en évidence la nature ondulatoire de la lumière : il sépare la lumière d'un faisceau lumineux et observe sur un écran des franges d'interférences. Dans l'expérience qui porte son nom le faisceau lumineux est séparé grâce à deux trous séparés d'une distance a verticale formant ainsi deux sources lumineuses S_1 et S_2 cohérente.



On appelle différence de marche la distance : $\delta = S_2M - S_1M = \frac{ax}{D}$ pour $a \ll D$ et $|x| \ll D$.

1. À quel phénomène est due la déviation de la lumière lors de son passage dans chaque trou ?
2. Exprimer le déphasage ϕ entre les deux ondes arrivant en un point M de coordonnée x de l'écran.
3. Pour quelle valeur de ϕ aura-t'on des interférences constructives ? et destructives ?

EX6 : Young bis

On reprend le dispositif précédent et on ajoute une cuve de longueur $\ell \ll D$ contenant un liquide d'indice optique n sur l'un des faisceaux lumineux.

1. Exprimer la nouvelle différence de marche δ.
2. Retrouver la condition d'interférence constructives.

3 Problèmes

EX7 : Facteur de contraste

On fait interférer deux ondes sinusoïdales de même pulsation, qui peuvent avoir une amplitude différente : $S_1 \neq S_2$. Dans ce cas, l'amplitude résultante obtenue dans le cas d'interférences destructives n'est plus nulle et on se préoccupe de l'écart relatif entre les valeurs maximales et minimales observées lorsque le détecteur se déplace.
On considère que le détecteur est sensible au carré de la valeur efficace de l'onde résultante. On appelle I la grandeur correspondante : $I =< s^2(t) >$, où $<>$ représente la moyenne temporelle.

1. Exprimer les valeurs maximales I_{max} et minimales I_{min} de I, obtenues pour les différents états d'interférence.
2. On définit le facteur de contraste C, dont on aimerait qu'il présente les propriétés suivantes :
   — C est compris entre 0 et 1,
   — C est d'autant plus élevé que l'écart entre I_{max} et I_{min} est grand.
   Montrer que la définition suivante répond aux attentes. $C = \frac{I_{max}-I_{min}}{I_{max}+I_{min}}$.
3. Exprimer alors C en fonction de rapport $x = S_2/S_1$ et tracer le graphe correspondant. Commenter la présence du maximum observé.

4 Pour aller plus loin

EX8 : Corde sur un vibreur

Une corde délimitée par les abscisses $x = 0$ et $x = L$ est excitée en $x = 0$ par un vibreur. Celui-ci impose un déplacement vertical de l'extrémité gauche de la corde $z(t) = z_0 \sin(\omega t)$, où ω est la pulsation du vibreur et z_0 son amplitude. L'extrémité droite est fixée. On appelle $y(x, t)$ la hauteur de la corde par rapport à l'horizontale en x et à l'instant t.

1. Quelles conditions aux limites a-t-on en x = 0 et x = L.
2. On suppose que la vibration est de la forme $y(x,t) = A\sin(\omega t + \phi)\sin(kx + \psi)$, où A, ω, k, ϕ et ψ sont des constantes réelles telles que : $k = \frac{\omega}{c}$, où c est la vitesse de propagation de l'onde. Quelle sorte d'onde est-ce ?
3. Déterminer les constantes.
4. Pour quelles valeurs de k l'amplitude de la vibration devient-elle très grande ? Retrouver l'expression des modes propres.
5. Pourquoi l'amplitude diverge t'elle ?