Ondes - interférences

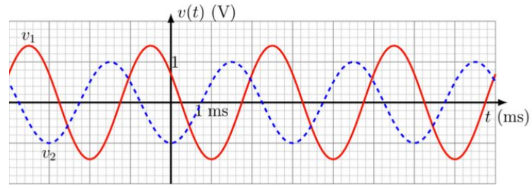
1 Quelques signaux...

1. Citer un exemple respectivement d'onde longitudinale et transversale.
2. Donner la période T, la fréquence f, la pulsation ω, l'amplitude A, la longueur d'onde λ et la célérité c de l'onde $s(t,x) = 6\sin\left(3.2\times 10^3\pi t - 5\pi x + 5\pi\right)$ avec t en secondes et x en mètres.
3. Les chauve-souris émettent généralement une suite de cris en forme de trains d'onde, chacun d'une durée d'environ 3 ms et une fréquence porteuse variant entre 30kHz et 100kHz. Généralement, le temps t entre deux cris est de 70 ms. À quelle distance maximale un objet peut-il être situé sans que l'écho d'un cri soit reçu avant l'émission du cri suivant ?

Rép : 2.$f = 1.6\text{kHz}, T = 625\mu\text{s}, \omega \simeq 10^4\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}, A = 6$, $\lambda = 40$ cm et $c = \lambda f = 640\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; 3. $L \simeq 12$ m.

2 Mesure d'un déphasage

Un haut-parleur situé à l'origine O de l'axe (O_x) émet une onde sonore sinusoïdale se propageant dans le sens des x croissants. Les deux signaux $v_1(t)$ et $v_2(t)$ récupérés en sortie de deux micros placés en deux points distincts sont représentés ci-contre.



1. Donner l'amplitude, la valeur moyenne, la période et la fréquence de chacune des tensions. Les deux tensions sont-elles synchrones ?
2. v_2 est-elle en avance ou en retard par rapport à v_1 ? Quel est le décalage temporel associé ? En déduire le déphasage correspondant.
3. Donner la phase à l'origine des deux tensions.

Rép : $S_1 = 1.4$ V, $S_2 = 1.0$ V, $T_1 = T_2 = 3$ ms, $f_1 = f_2 = 333$ Hz ; (2) en avance sur (1), $\Delta t = 1.0$ ms. $\Delta\phi = 2\pi/3$; $\phi_1 = \pi/3$, $\phi_2 = \pi$

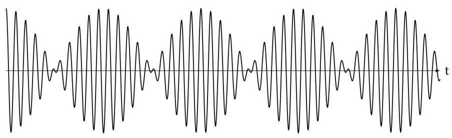
3 Onde le long d'une corde

Une corde est excitée transversalement à une extrémité selon $y(t) = A\sin\frac{2\pi t}{T}$ avec $A = 10$ cm.
1. Établir l'équation de l'onde se propageant dans la corde dans le sens des x croissants. Expliquer ce qu'on entend par double périodicité de ce phénomène.
2. La célérité c de l'onde le long de la corde dépend de trois paramètres : ses masse $m = 100$ g, tension $F = 15$ N et longueur $l = 10$ m. Par analyse dimensionnelle, déterminer l'expression de c (On admettra que le coefficient adimensionné devant vaut 1).
3. Calculer la célérité c ainsi que sa longueur d'onde λ pour une fréquence de $f = 16$ Hz.
4. Écrire l'équation du mouvement d'un point M à 5 m de la source.
5. Comment faut-il faire varier la tension de la corde pour doubler la longueur d'onde ?

Rép : $c = \sqrt{\frac{F}{m/l}}$; $c = 39$ m s^{-1}, $\lambda = c/f = 2.6$ m ; $y_M(5,t) = A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{10\pi}{cT}\right)$; multiplier F par 4

4 Battements

On additionne deux signaux de fréquences différentes : $s_1(t) = s_m\cos(\omega_1 t)$ et $s_2(t) = s_m\cos(\omega_2 t)$

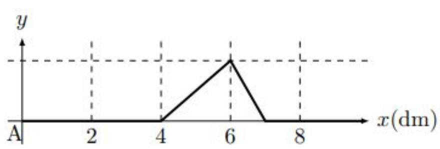


1/ Montrer que l'allure du signal somme $s(t)$, lorsque les deux pulsations sont "proches" (notion à préciser), prend la forme ci contre :
2/ On pose : $\omega_0 = \omega_1 + \omega_2$ et $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$. Comment déterminer graphiquement $\Delta\omega$ et ω_0 ?
3/ Connaissez vous des applications de ce principe dans la vie quotidienne ?

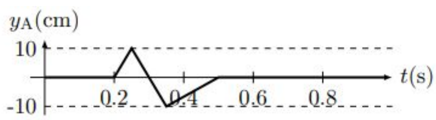
Rép : Produit de cosinus, celui variant lentement donne l'amplitude de l'autre ; accord d'instruments

5 Évolution d'ondes progressives

1/ Une onde progressive se propage le long d'une corde infinie à la célérité $c = 50\ \text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ vers les x croissants. À $t = 0$, le signal créé au point A débute. En utilisant la figure, déterminer l'instant correspondant à l'image et la durée de la perturbation. Tracer ensuite $y_\text{A}(t)$ et $y_\text{M}(t)$ sachant que AM = 50 cm puis représenter la corde à $t = 2$ s.



2/ Une onde progressive se propage le long d'une corde infinie à la célérité $c = 50\ \text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ vers les x croissants. En $x = 0$ (point A de la corde), on crée le signal représenté sur le schéma. Déterminer la durée et la longueur de la perturbation. Tracer ensuite $y(x)$ à $t = 1$ s et $t = 2$ s. Tracer ensuite $y_\text{M}(t)$ avec AM = 25 cm



Rép : 1. La perturbation est longue de 30 cm, sa durée vaut 0.6 s, le point le plus avancé de la perturbation est à la 70 cm de l'origine, l'instant de la photographie est donc $t = 1.4$ s. Le signal met 1 s pour atteindre le point M. En 0.6 s, le signal a avancé de 30 cm. 2. La perturbation dure 0.3 s et elle mesure 15 cm. Le signal a débuté à $t = 0.2$ s. Durant 0.8 s, il a parcouru 40 cm.

6 Effet Doppler

Une ambulance, sirène allumée, passe dans la rue. La sirène émet des ondes sonores dont la célérité dans l'air est $c_s = 340\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. L'ambulance se déplace selon un axe Ox avec une vitesse $\overrightarrow{v_0} = v_0 \overrightarrow{e_x}$ où $v_0 > 0$ et l'abscisse de l'ambulance est $x_a(t) > 0$. Un piéton immobile situé en $x = 0$ écoute l'ambulance s'éloigner.
1. On suppose dans un premier temps que la sirène de l'ambulance émet des bips tous les T_a. Déterminer l'expression de la période T_r des bips reçus par le piéton en $x = 0$.
2. En admettant que $1/(1+\varepsilon) \sim 1 - \varepsilon$ au premier ordre en ε pour $\varepsilon \ll 1$, montrer qu'au premier ordre en v_0/c_s, la fréquence f_r des bips reçus par le piéton s'écrit :

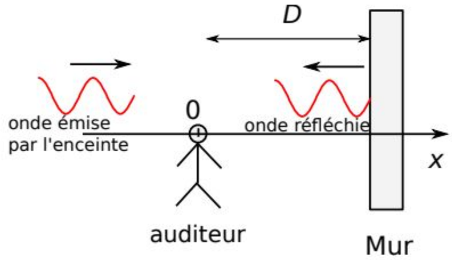
$$f_r = f_a \left(1 - \frac{v_0}{c_s}\right) \quad \text{avec} \quad f_a = \frac{1}{T_a}.$$

3. La sirène émet maintenant un signal sinusoïdal de fréquence $f_a = 1000$ Hz, calculer la fréquence f_r du son entendu par le piéton si l'ambulance roule à 50 km/h. Le son parait-il plus grave ou plus aigu que celui émis par la sirène ?
4. Comment est modifiée l'expression obtenue à la question 2 si le piéton avance à la vitesse v_p constante en direction de l'ambulance qui s'éloigne ?
5. Dans le cas où l'ambulance se rapproche à 50 km/h du piéton immobile en $x = 0$, calculer la fréquence f_r du son entendu par le piéton ? Le son parait-il plus grave ou plus aigu que celui émis par la sirène ?
L'effet Doppler est utilisé en astrophysique pour mesurer la vitesse radiale des galaxies par rapport à la Terre. Pour cela, le spectre de la lumière provenant de la galaxie est comparé au spectre des éléments sur Terre. Par exemple, pour la galaxie NGC 691, la longueur d'onde de la raie rouge de l'hydrogène, mesurée par décomposition de la lumière provenant de la galaxie, est $\lambda_\mathrm{G} = 661.5$ nm alors que cette même raie mesurée sur Terre avec une lampe à hydrogène présente une longueur d'onde $\lambda_0 = 656.0$ nm.
6. Déterminer la vitesse de la galaxie par rapport à la Terre. On supposera que la célérité de la lumière est égale à sa valeur dans le vide $c = 3.0 \times 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Rép : 1.$T_r = t_2 - t_1 = T_a\,(1 + v_0/c_s)$ 3. $f_r = f_a \left(1 - \frac{v_0 - v_p}{c_s}\right)$; 4.1.04kHz; 5. 2.5×10^3 km/s

7 Interférences et acoustique

Une bonne installation acoustique doit prendre en compte de nombreux paramètres et effets. L'un d'entre eux est la possibilité d'interférences entre le son émis par les enceintes et celui réfléchi contre les murs.

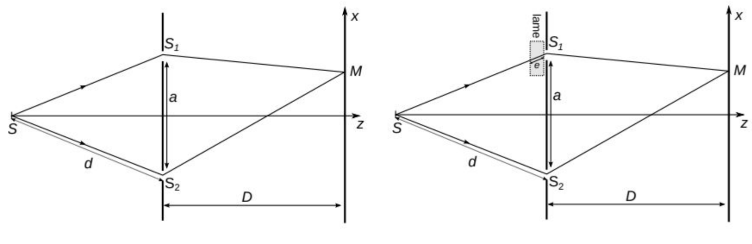


1/ Exprimer le décalage temporel τ qui existe entre les deux ondes arrivant dans l'oreille de l'auditeur : onde arrivant directement et onde réfléchie.
On admet que la réflexion sur le mur ne s'accompagne d'aucun déphasage pour la suppression acoustique, grandeur à laquelle l'oreille est sensible.
2/ En déduire le déphasage $\Delta\phi$ entre ces deux ondes.
3/ Expliquer pourquoi il y a un risque d'atténuation de l'amplitude de l'onde pour certaines fréquences. Exprimer ces fréquences en fonction d'un entier n.
4/ Quelle condition doit vérifier D pour qu'aucune de ces fréquences ne soient dans le domaine audible ? Est-elle réalisable ?
5/ Expliquer pourquoi on évite cet effet nuisible en éloignant l'auditeur du mur.

Rép : 1.$\tau = 2D/c_s$; 2.$\Delta\phi = \omega\tau$; 3.$f_n = (2n+1)/2\tau$; 4.$D < 4$ mm

8 Mesure de l'épaisseur d'une lame à l'aide du dispositif des trous d'Young

On considère un dispositif des trous d'Young, éclairé par une source quasi-monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 500$ nm. On note $a = 0,5$ mm la distance entre les deux trous, $D = 2,0$ m la distance écran-trous.



1 - (question de cours) On se place dans le cas de la figure de gauche. Établir les expression de la différence de chemin optique $\delta(M)$ au point M sur l'écran, en fonction de x, a et D. On supposera ax très petits devant D.
Donner ensuite l'expression de l'intensité lumineuse (formule de Fresnel), et de l'interfrange (période spatiale de la figure).
2 - La frange centrale correspond à une différence de chemin optique nulle. En déduire sa position x sur l'écran.
On place maintenant une lame de verre d'indice $n = 1,4$ et d'épaisseur e devant S_1. On suppose que les rayons la traversant le font quasiment sans être inclinés : ils parcourent dans la lame une distance e (cf. schéma de droite).
3 - Que vaut maintenant la différence de chemin optique $(SM)_1 - (SM)_2$?
4 - Quelle est la nouvelle position de la frange centrale ? Donner l'expression de son déplacement en terme de nombre d'interfranges.
5 - Expérimentalement, on mesure un déplacement de 10 interfranges. Que vaut e ?

Rép : 1.$i = \lambda D/a$; 2.$x = 0$; 3.$\delta = (n-1)e - ax/D$; 4.$x = e(n-1)i\lambda$; 5.$e = 12,5\mu$m