TD10 – Propagation d'un signal

Exercice 1 – Quelques signaux

Les questions sont indépendantes.

1. Quelle est la vitesse d'une vague sur l'océan de longueur d'onde 1 m et de fréquence 1,25 Hz ?

2. Une onde périodique passe devant un observateur qui enregistre que l'intervalle de temps entre deux crêtes consécutives est de 0,5 s. Alors...

2.a. la fréquence est de 0,5 Hz ;

2.b. la vitesse est de $0{,}5\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$;

2.c. la longueur d'onde est 0,5 m ;

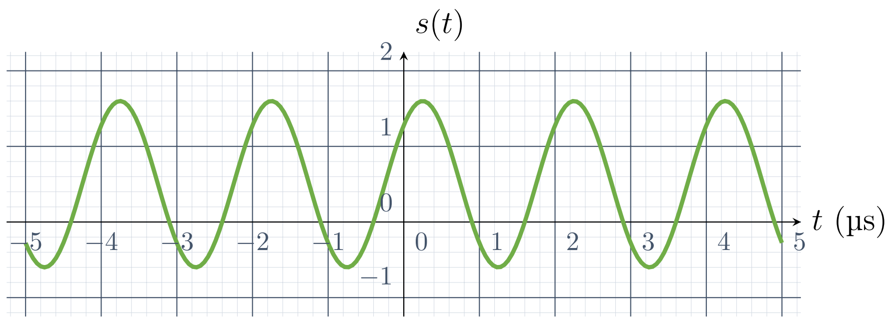
2.d. la période est de 0,5 s.

3. Donner la période T, la fréquence f, la pulsation ω, l'amplitude A, la longueur d'onde λ, le nombre d'onde k, la célérité c et la phase à l'origine φ_0 de l'onde :

$$s(x,t) = 6\sin(3{,}2\times 10^3\pi t - 5\pi x + 5\pi),$$

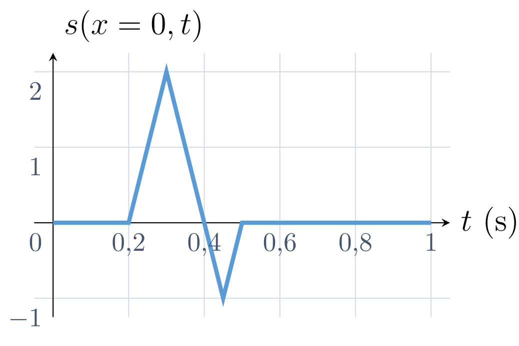
où t est en secondes et x en mètres.

4. On récupère à l'aide d'une carte d'acquisition le signal issu d'un transducteur ultrasonore. Lire graphiquement les propriétés du signal et donner l'expression de $s(t)$.



5. Une onde progressive se propage le long d'une corde à la célérité $c = 50\,\mathrm{cm\cdot s^{-1}}$ vers les x croissants. En $x=0$ (point A de la corde), on crée le signal représenté sur le schéma.

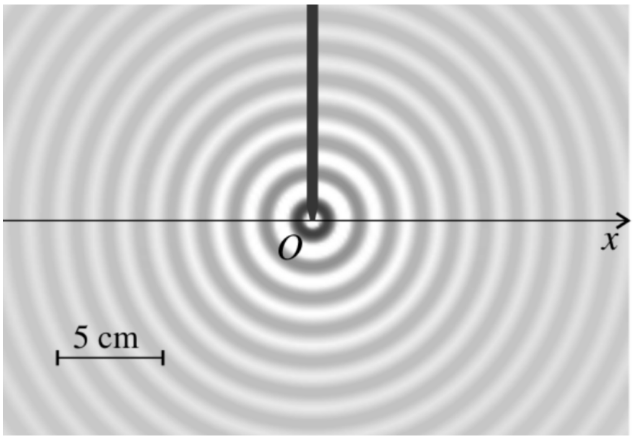
Déterminer la durée et la longueur de la perturbation. Tracer ensuite $s(x, t = 1\,\mathrm{s})$ et $s(x, t = 2\,\mathrm{s})$. Représenter le signal $s_M(t)$ mesuré en M avec $AM = 25\,\mathrm{cm}$.



6. 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 30 kHz et 100 kHz. 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 ?

Exercice 2 – Cuve à ondes

La figure représente la surface d'une cuve à onde éclairée en éclairage stroboscopique. L'onde est engendrée par un vibreur de fréquence $f = 18\,\text{Hz}$. L'image est claire là où la surface de l'eau est convexe, foncée là où elle est concave.



1. Mesurer la longueur d'onde.
2. En déduire la célérité de l'onde.

On suppose l'onde sinusoïdale, d'amplitude A constante et de phase initiale nulle en O.

3. Écrire le signal $s(x, t)$ pour $x > 0$ et pour $x < 0$.
4. Expliquer qualitativement, pourquoi l'amplitude A de l'onde n'est, en fait, pas constante.

Exercice 3 – Position et date d'un séisme

Un séisme produit deux types d'ondes sismiques : les ondes P, longitudinales, qui se propagent avec la célérité c_P et les ondes S, transversales, qui se propagent avec la célérité $c_S < c_P$.

1. Lors d'un séisme, on commence à détecter les premières à la date t_P et les secondes à la date t_S. Montrer qu'on peut en déduire, connaissant c_S et c_P, la distance δ entre le foyer du séisme et l'appareil, ainsi que la date du début du séisme.
2. Pour un séisme, on mesure les distances δ_1, δ_2 et δ_3 entre le foyer du séisme et trois stations de mesure. Sans faire de calcul, montrer que cette information permet de localiser la position du foyer du séisme. Quel système fonctionne sur le même principe ?

Exercice 4 – Effet Doppler

Une ambulance, sirène allumée, passe dans la rue. La sirène émet des ondes sonores dont la célérité dans l'air est $c = 340\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. 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 $x(t) > 0$. 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. Déterminer l'expression de la période T' des bips reçus par le piéton en $x = 0$.
2. En admettant que $1/(1+\varepsilon) \approx 1 - \varepsilon$ au premier ordre en ε pour $\varepsilon \ll 1$, montrer qu'au premier ordre en v_0/c, la fréquence f' des bips reçus par le piéton s'écrit :
$$f' = f\left(1 - \frac{v_0}{c}\right), \text{ avec } f = \frac{1}{T}$$
3. La sirène émet maintenant un signal sinusoïdal de fréquence $f = 1{,}00\,\text{kHz}$, calculer la fréquence f' du son entendu par le piéton si l'ambulance roule à $50\,\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$. 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 $50\,\mathrm{km}\cdot\mathrm{h}^{-1}$ du piéton immobile en $x = 0$, calculer la fréquence f' du son entendu par le piéton ? Le son paraît-il plus grave ou plus aigu que celui émis par la sirène ?

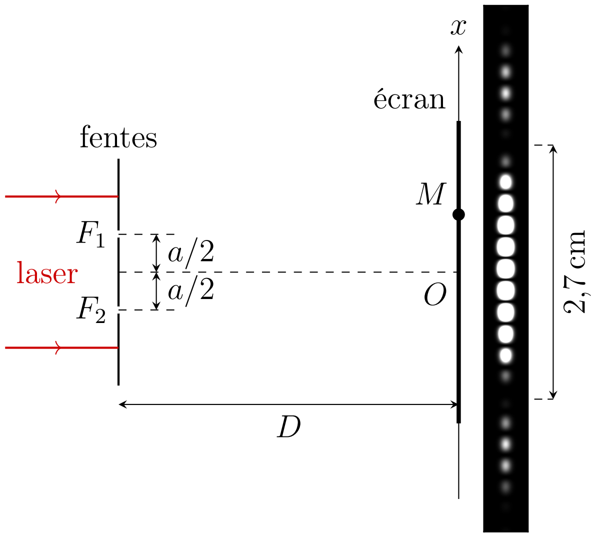
L'effet Doppler est utilisé en astrophysique pour mesurer la vitesse radiale des galaxies par rapport à la Terre. Pour cela, le spectre de la lumière provenant de la galaxie est comparé au spectre des éléments sur Terre. Par exemple, pour la galaxie NGC 691, la longueur d'onde de la raie rouge de l'hydrogène, mesurée par décomposition de la lumière provenant de la galaxie, est $\lambda_G = 661{,}5\,\mathrm{nm}$ alors que cette même raie mesurée sur Terre avec une lampe à hydrogène présente une longueur d'onde $\lambda_0 = 656\,\mathrm{nm}$.

6. Déterminer la vitesse de la galaxie par rapport à la Terre.

Exercice 5 – Fentes d'Young et diffraction

Le dispositif représenté ci-contre comprend un écran opaque percé de deux fentes fines identiques de largeur $\varepsilon = 0{,}070\,\mathrm{mm}$, parallèles et distantes de $a = 0{,}40\,\mathrm{mm}$. On envoie un faisceau laser de longueur d'onde $\lambda = 633\,\mathrm{nm}$ sur les fentes et on place un écran d'observation à distance $D = 1{,}5\,\mathrm{m}$ derrière le dispositif.

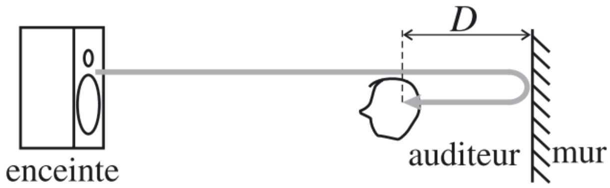
On observe sur l'écran une figure symétrique autour d'un point O, la lumière se répartissant le long d'un axe (Ox) perpendiculaire aux fentes. On observe une tache centrale très lumineuse, de largeur 2,7 cm dont l'éclairement est modulé et des taches latérales, deux fois plus étroites et beaucoup moins lumineuses présentant la même modulation de l'éclairement.



1. Exprimer la largeur L de la tache centrale de la figure de diffraction qu'on observerait s'il n'y avait qu'une seule fente de largeur ε. Montrer que le taches centrales de diffraction des deux fentes sont pratiquement confondues.
2. On appelle champ d'interférence l'intersection des taches centrales de diffraction. Il est centré en un point O situé à égales distances des deux fentes et peut être considéré d'après la question précédente comme le domaine $-L/2 \leqslant x \leqslant L/2$ de l'axe (Ox). Montrer que pour un point M du champ d'interférences et d'abscisse x, on a $MF_2 - MF_1 = \dfrac{ax}{D}$ au premier ordre en x.
3. Exprimer alors le déphasage entre les deux ondes arrivant en M en fonction de λ, a, D et x. Les deux ondes ont la même phase initiale à leur départ de F_1 et F_2.
4. Trouver les coordonnées des points du champ d'interférences en lesquels il y a interférence constructive. Combien y en a-t-il ? Comparer à la photographie de l'écran.
5. Trouver les coordonnées des points en lesquels il y a interférence destructive. Quelle est la distance entre deux points consécutifs ? Comparer à la photographie de l'écran.

Exercice 6 – Écoute musicale et interférences

La qualité de l'écoute musicale que l'on obtient dépend de la manière dont les enceintes sont disposées par rapport à l'auditeur. Il faut notamment éviter la configuration représentée ci-contre : présence d'un mur à une distance D trop courte derrière l'auditeur.



Comme représenté sur la figure, l'onde issue de l'enceinte se réfléchit sur le mur. On note $c = 342\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$ la célérité du son dans l'air.

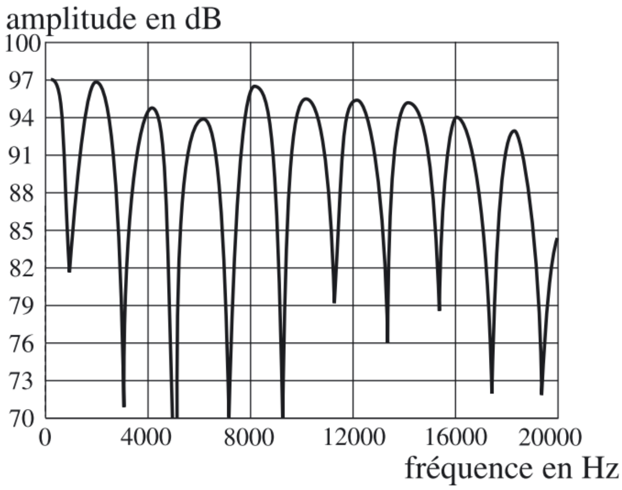
1. Exprimer le décalage temporel τ qui existe entre les deux ondes arrivant dans l'oreille de l'auditeur (onde arrivant directement et onde réfléchie).
2. On admet que la réflexion sur le mur ne s'accompagne d'aucun déphasage pour la surpression acoustique, grandeur à laquelle l'oreille est sensible. En déduire le déphasage $\Delta\varphi$ de ces deux ondes supposées sinusoïdales de fréquence f.
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. Quelle condition devrait vérifier D pour qu'aucune de ces fréquences ne soit dans le domaine audible. Est-ce réalisable ?
4. Expliquer qualitativement pourquoi on évite l'effet nuisible en éloignant l'auditeur du mur.

La figure ci-contre montre le résultat d'une expérience dans laquelle on a placé un micro, sensible à la surpression, à une certaine distance D du mur, puis envoyé un signal de fréquence variable et d'amplitude constante A_0. La courbe, d'allure très caractéristique, est appelée « courbe en peigne ».

L'amplitude en décibels est définie par

$$A_{\mathrm{dB}} = 20\log\frac{A}{A_{\mathrm{ref}}}$$

où A_{ref} est une amplitude référence.

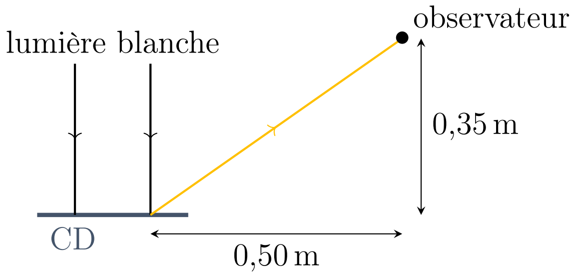


5. Lorsqu'il y a superposition de deux ondes de même amplitude A_0, quelle est la valeur maximale de l'amplitude de l'onde résultante ? En déduire la valeur de $A_{0,\mathrm{dB}}$ d'après la courbe.
6. Calculer numériquement la distance D.

Exercice 7 – Résolution de problème

Un CD est éclairé par une source de lumière blanche parallèle arrivant en incidence normale. D'un point d'observation indiqué sur le schéma ci-dessous, on perçoit une radiation jaune.

Proposer une estimation de la largeur des sillons, régulièrement espacés, constituant le disque.



Exercice 8 – Résolution de problème

On donne le grossissement d'un microscope optique :

$$G = \frac{\alpha}{\alpha_0} = 60,$$

où α est l'angle apparent sous lequel apparait l'image d'un objet à travers le microscope et α_0 l'angle apparent de ce même objet observé à l'œil nu au punctum proximum.

Proposer une estimation de la taille du plus petit objet discernable à l'aide du microscope.

Exercice 9 – Superpositions de signaux

Interférences

1. À l'aide de Python, représenter graphiquement la somme de deux signaux sinusoïdaux, de même fréquence, d'amplitudes a_1 et a_2 et déphasés de $\Delta\varphi$. Faire varier les paramètres a_1, a_2 et $\Delta\varphi$ et noter vos observations.
2. Avec l'expérience « Générateur de son » de Phyphox, produire deux sons identiques de fréquence 800 Hz à l'aide de deux smartphones distants d'environ 1 m, puis déplacer-vous lentement autour des smartphones. Que remarque-t-on ? Interpréter.
3. Mesurer la longueur d'onde des ondes sonores ainsi produites et en déduire la vitesse du son. Est-ce cohérent avec vos connaissances ?
4. Répéter l'expérience pour quelques valeurs de la fréquence.

Phénomène de battement – hors programme

5. À l'aide de Python, représenter graphiquement la somme de deux signaux sinusoïdaux en phase, d'amplitudes a_1 et a_2 et de fréquence f_1 et f_2. Faire varier les paramètres a_1, a_2, f_1 et f_2 et noter vos observations. On veillera à choisir un intervalle de temps suffisamment grand pour la représentation graphique.
6. Avec l'expérience « Générateur de son », dans l'onglet Multi de Phyphox, produire deux sons de fréquences f_1 et f_2 séparées de quelques hertz. Comparer vos observations avec les résultats du programme Python.

7. Exprimer la somme des deux signaux dans le cas où leurs amplitudes sont égales, de manière à faire apparaitre deux fréquences caractéristiques.
Donnée : $\cos p + \cos q = 2 \cos \dfrac{p+q}{2} \cos \dfrac{p-q}{2}$