TP8 : Ondes ultrasonores et interférences

MP 2026-2027, Lycée Baimbridge

3 novembre 2026

Matériel

Alimentation continue, alimentation +15/-15V, trois récepteurs ultrasons, fils, deux GBF, un oscilloscope, un multiplicateur, un multimètre gris, un rail en plastique gradué pour les émetteurs à ultrasons.

Objectif

Étudier la décroissance de l'amplitude d'une onde lumineuse sphérique en fonction de la distance.

Compétences évaluées

- Utiliser des émetteurs/récepteurs ultrasonores
- Utiliser les différentes fonctions de l'oscilloscope
- Réaliser une régression linéaire avec Python et estimer l'incertitude des coefficients de régression
- Tracer un diagramme polaire d'émission
- Observer qualitativement le phénomène d'interférences et la perte de cohérence

Consignes pour le compte rendu de TP :

- *Décrire le protocole expérimental utilisé*
- *Utiliser un maximum de schémas*
- *Apporter un soin particulier aux chiffres significatifs et au traitement des incertitudes*
- *Si la question n'est pas aboutie, indiquer tout de même ce que vous avez fait, vos mesures, et ce que vous auriez fait si vous aviez eu plus de temps*
- *Ne pas y passer trop de temps, vous êtes avant tout là pour manipuler !*

Dans ce TP, nous étudions différents aspects de physique ondulatoire à travers l'étude d'ondes ultrasonores. Nous allons notamment faire des mesures d'intensité. L'intensité I d'une onde caractérise l'énergie transportée par cette onde. Pour une onde sonore, cette intensité est proportionnelle au carré de la perturbation de pression. Si l'onde est de la forme :

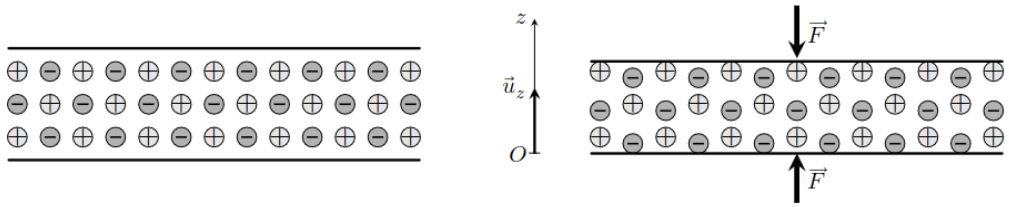
$$p(x,t) = p_0 \cos(\omega(x - ct))$$

Alors l'intensité vaudra : $I = \langle p(x,t)^2 \rangle = \dfrac{p_0^2}{2}$.

1 Etude théorique de l'émetteur/récepteur

Principe de fonctionnement d'un matériau piézoélectrique

Les matériaux piézoélectriques ont la faculté de faire apparaitre un champ électrique sous l'effet d'une déformation mécanique (effet direct). Réciproquement, ces matériaux se déforment lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique (effet inverse).
On considère un milieu cristallin ionique, isolant, homogène à l'échelle mésoscopique, mais dont les porteurs de charge, cations et anions, forment deux réseaux se déformant différemment sous l'effet de forces de compression. Sans contrainte, la densité de charge est partout nulle. En cas de compression, un moment dipolaire apparaît dans le matériau $\vec{p} \propto F\vec{u_z}$ où F est la force appliquée sur le cristal. Le dipôle équivalent à l'ensemble peut se modéliser par une densité surfacique de charge $\pm\sigma$ qui apparaît sur les faces inférieure et extérieure.



(a) Cristal sans contrainte (b) Cristal soumis à une compression

☐ **1** – A partir du document et de vos connaissances, justifier que la tension aux bornes du matériau piézoélectrique est proportionnelle à la pression appliquée sur le matériau.

☐ **2** – En déduire que, à une constante près, l'intensité I de l'onde est proportionnelle à U_{eff}^2 où U_{eff} est la valeur efficace de la tension mesurée aux bornes du piézoélectrique.

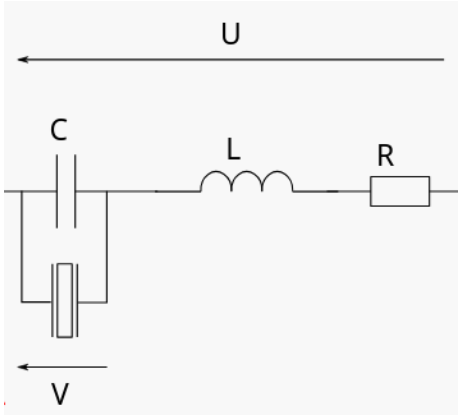
☐ **3** – Justifier rapidement à partir du document (page suivante) que les émetteurs et les récepteurs ont une fréquence de résonance.

La fréquence de résonance se trouvant à 40 kHz, on prendra soin de se placer à cette fréquence pour l'ensemble du TP.

Attention ! Les multimètres rouges dont nous disposons ne fonctionnent pas à une fréquence aussi élevée. Il est donc nécessaire d'utiliser les multimètres gris que l'on utilise habituellement en mode "Ampèremètre".

Structure de l'émetteur-récepteur à ultrasons

Le matériau piézoélectrique, représenté sur un schéma électrique par un rectangle entre les deux plaques d'un condensateur, est inséré dans le circuit électrique suivant :



La résistance R est choisie la plus faible possible. Deux fiches reliées à l'appareil permettent soit de l'alimenter pour contrôler la tension U (mode émetteur) ; soit de mesurer la tension U (mode récepteur).

2 Décroissance de l'amplitude de l'onde

Nous souhaitons déterminer la loi de l'intensité créée par un émetteur ultrasonore en fonction de la distance à cet émetteur, et on supposera qu'il s'agit d'une loi de puissance :

$$I(r) = K \cdot r^{\alpha} \tag{1}$$

2.1 Variation de l'intensité avec la distance

☐ **4** – Proposer un protocole permettant de vérifier l'équation 1 à l'aide d'une régression linéaire.

☐ **5** – Mettre en oeuvre le protocole en apportant un soin particulier à l'estimation des incertitudes de vos mesures. Estimer α (sans incertitude pour l'instant).

☐ **6** – Mettre en oeuvre la méthode de Monte Carlo (vue au TP1) pour estimer l'incertitude sur α.

☐ **7** – Sur quelle surface se répartit l'énergie de l'onde à une distance r de l'émetteur ? Justifier que l'on s'attend théoriquement à avoir $\alpha = 2$. Comparer à votre résultat.

3 Interférences

Nous cherchons désormais à observer le phénomène d'interférences lorsque deux sources d'ultrasons sont présentes.

☐ **8** – Proposer et mettre en oeuvre un protocole pour mesurer la longueur d'onde λ.

3.1 Observation du phénomène

Placer le récepteur entre les deux rails à l'emplacement prévu à cet effet. Il restera dans cette position tout le reste du TP. Placer deux émetteurs alimentés par la même tension sur chacun des deux rails, à la même abscisse, à environ une trentaine de centimètres du récepteur. Observer à l'oscilloscope le signal envoyé par le GBF et reçu par le récepteur.

☐ **9** – Que se passe-t-il lorsque l'on déplace l'un des deux émetteurs le long du rail ? Expliquer la notion d'interférences constructives et destructives. On pourra alternativement cacher de la main le signal émis par l'un ou l'autre des émetteurs pour bien observer le phénomène.

On appelle *différence de marche*, notée δ, la distance de trajet entre les ondes émises par chacun des deux émetteurs. Ici, elle est approximativement égale à la distance entre les deux émetteurs.

☐ **10** – Que vaut la différence de marche lors d'interférences constructives ? Et destructives ?

3.2 Mesure du contraste

Le contraste des interférences est défini par $C = \dfrac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$ où $I_{\max}$ et $I_{\min}$ représentent l'intensité au niveau d'un maximum et d'un minimum successif d'intensité.

☐ **11** – Faire une mesure du contraste des interférences pour les 5 premières franges d'interférences.

3.3 Perte de cohérence

Les sources réelles ne sont pas des générateurs sinusoïdaux parfaits : on va modéliser dans le cours les ondes par des séries de *trains d'onde* : l'onde est émise sous la forme de trains successifs constitués de signaux sinusoïdaux.

Nous allons fabriquer des trains d'onde en multipliant le signal à 40 kHz par un signal créneau. Pour cela, générer un signal créneau de fréquence 2 kHz et d'amplitude 20 V à l'aide du second GBF. Multiplier ce signal par le signal sinusoïdal à 40 kHz.

Utilisation du multiplicateur

Le multiplicateur permet de multiplier deux signaux. Il doit être alimenté en continu +15V/-15V (ne pas oublier de brancher la masse). Les modèles disponibles réalisent la multiplication suivante :

$$V_S = K(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2) + Z \tag{2}$$

avec $K = 0.1\,\mathrm{V}^{-1}$. Il faut brancher **toutes les entrées** lors de l'utilisation, quitte à mettre certaines d'entre elles à la masse si nécessaire.

☐ **12** – Observer les deux signaux envoyés et le signal obtenu après multiplication à l'oscilloscope. Attention : pour bien le visualiser, il faut réaliser le déclenchement sur le signal de fréquence la plus lente. Constater la présence de trains d'onde.

☐ **13** – Mesurer le contraste des interférences pour les 5 premières franges et comparer au cas en l'absence de trains d'onde. Comment varie-t-il désormais ? Expliquer qualitativement.

On dit dans ce cas que la source n'est plus cohérente : lorsque deux trains d'onde différents arrivent sur le récepteur, ils n'interfèrent plus entre eux. On perd alors en partie les interférences, ce qui a pour effet de réduire le contraste.