

Célérité des ondes ultrasonores

Sujet du TP : Sur l'exemple des ondes ultrasonores de fréquence f de l'ordre de 40 KHz , nous nous proposons de vérifier quelques lois générales relatives à la physique ondulatoire : retard à la propagation, ondes stationnaires, interférences, réflexion, diffraction.

Compétences exigibles :

- Réaliser l'analyse spectrale d'un signal ou sa synthèse.
- Mesurer la célérité, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.
- Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser le phénomène d'interférences de deux ondes.
- Choisir les conditions expérimentales permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction en optique ou en mécanique.

Capacité numérique :

- Simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
- Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé.

	S'APPROPRIER	ANALYSER	REALISER	VALIDER	COMMUNIQUER
Questions	Q7	Q5 - Q8 - Q19	Q1-4-6-9-10-12-14-16	Q2-3-11-13-14-15	Tout
Notes					

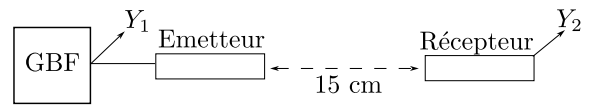
I. Matériel utilisé

- Les cellules désignées respectivement par émetteur (E) et récepteur (R) sont des céramiques en titanate de baryum $BaTiO_3$, à effet piézo-électrique ; il s'agit de cylindres d'épaisseur 0,7 mm, de diamètre 8,3 mm, montées sur support. (E) sera relié à un GBE délivrant un signal sinusoïdal. (R) peut être directement branché à l'oscilloscope.
- Des multimètres digitaux mesurent les tensions V_E appliquée à l'émetteur, X_R délivrée par le récepteur. Ils permettront également de mesurer la fréquence d'un signal sinusoïdal.
- On dispose également d'un ensemble de deux règles glissières pouvant pivoter l'une autour de l'autre.
- On utilisera de préférence des fils coaxiaux (donc blindés) surtout à la sortie du récepteur lorsque son signal n'est pas amplifié.

II. Première étude expérimentale des ondes sonores

1. Réponse en fréquence de l'ensemble émetteur-récepteur

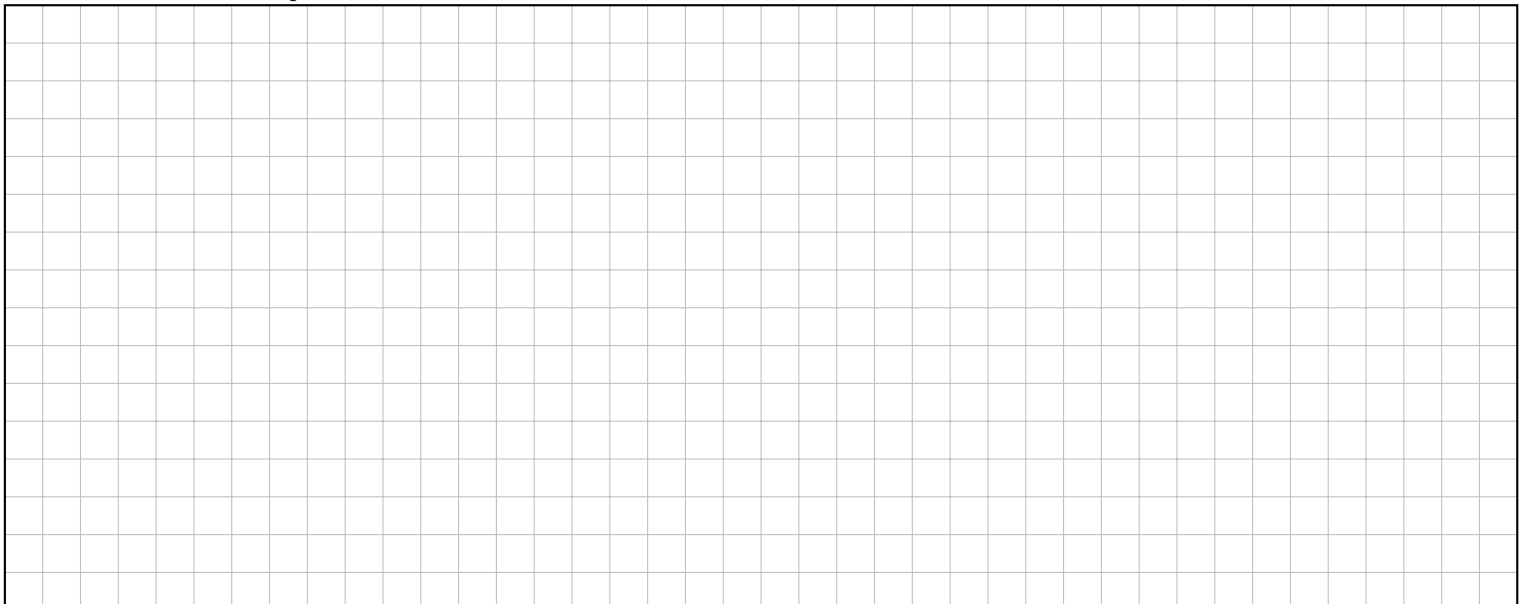
Réaliser le montage ci-contre. On utilisera le GBF en régime sinusoïdal avec une amplitude maximale. Le récepteur est placé en butée au plus près de l'émetteur et directement en face (angle nul sur le dispositif orientable).



Q1 Pour quelques (5-6) fréquences comprises entre 34 kHz et 45 kHz mesurer les tensions efficaces V_E et V_R aux bornes de l'émetteur et du récepteur.

f (kHz)									
V_E (V)									
V_R (V)									

Q2 Tracer (python ?) très rapidement l'allure de graphe V_R/V_E en fonction de la fréquence. Conclure quant au comportement de l'ensemble émetteur-récepteur.



Q3 Mesurer la fréquence de résonance f_0 ainsi que la valeur de la bande passante Δf du couple (E)-(R). En déduire le facteur de qualité Q . Commenter.

2. Caractère progressif de l'onde-mesure de la vitesse du son

a. Premières observations

Le montage de base est toujours celui de la figure (1), le GBF délivrant un signal harmonique de fréquence f_0 . Placer (R) sur la glissière en alignant bien (E), la glissière et (R). La distance (E)-(R) doit être au plus de l'ordre du mètre.

Q4 Translater lentement le récepteur (R) sur la glissière et observer simultanément à l'oscilloscope les signaux appliqué à (E) et reçu par (R). Que constatezvous ? Observer aussi ce qu'il se passe en mode XY à l'oscilloscope.

Q5 Justifier rapidement que la longueur de déplacement du 2^e récepteur entre deux passages en phase est égale à la longueur d'onde λ du signal.

Q6 Quelle observation (temporelle ou XY) est à privilégier ? Justifier la réponse en estimant l'incertitude sur la position du deuxième récepteur pour repérer les passages en phase.

Méthode : Rédaction d'un protocole

Pour réaliser une expérience, il faut déjà savoir ce qu'on va faire : c'est le but de la rédaction du protocole. Le protocole doit se suffire à lui-même : on doit pouvoir réaliser l'expérience en suivant « bêtement » le protocole. Pour cela, le protocole doit contenir :

- **Le schéma détaillé** de l'expérience, qui doit être légendé et comporter : le matériel, les appareils de mesure, les branchements, les grandeurs physiques utiles, . . .
- Les explications des **mesures à effectuer** : avec quoi ? comment ? combien ? quel(s) matériel(s) fera-t-on varier ? quelles sont les précautions à prendre ?
- L'exploitation des mesures à faire : calculs à effectuer, lois à utiliser pour conclure, . . .

Q7 Proposer un protocole détaillé permettant de mesurer la longueur d'onde de l'onde ultrasonore.

Q8 Comment en déduire la célérité du son dans l'air ?

b. Expérience

Q9 Après avoir fait valider le protocole par l'enseignant, réaliser l'expérience proposée.

Q10 Noter vos mesures. En déduire la valeur de c .

c. Estimation de l'incertitude par Monte-Carlo

Pour estimer l'incertitude-type sur la valeur de c , on utilise la méthode de Monte-Carlo. :

- Pour chacune des deux mesures effectuées (positions du 2^e récepteur et période), déterminer expérimentalement l'intervalle au sein duquel on est raisonnablement certain que le résultat de la mesure se trouve $[y_{\min}, y_{\max}]$.
- Choisir un nombre N de simulations à réaliser.
- Simuler N expériences pour chaque valeur : positions des récepteurs, période.
- En déduire N valeurs simulées de Λ et de T , puis N valeurs simulées de c .
- On peut alors calculer la moyenne et l'écart-type de ces N valeurs simulées pour déterminer le résultat de la mesure.

On utilisera le programme disponible dur cdp/informatique.

Q11 Écrire le résultat de la mesure sous la forme : $\bar{c} \pm u(\bar{c})$, où \bar{c} est la valeur moyenne du très grand nombre de valeurs de c générées, et $u(\bar{c})$ son écart-type.

3. Ondes stationnaires - mesure de la célérité du son

- Positionner sur la règle glissière droite l'émetteur (E) en butée contre le dispositif tournant. Dans la rainure en bois, disposer alors une plaque métallique P à droite de l'émetteur de manière à ce que l'incidence soit normale sur P . Faire en sorte que $EP \simeq 40$ cm.
- Interposer maintenant le récepteur (R) pointant vers (P) à une dizaine de centimètres de (E).
- Déplacer lentement (R) vers (P) et relever avec soin les positions des maxima et/ou minima successifs décelés par (R).
- Interpréter le phénomène. On pourra réfléchir aux signaux que l'on mesurerait en présence d'une onde stationnaire.
- En déduire une nouvelle mesure de la longueur d'onde λ de l'onde ultrasonore et en déduire la célérité du son dans l'air.

Q12 : Reprendre le protocole de Q11 pour déterminer une nouvelle valeur de la célérité moyenne et de son écart-type.

Comparaison des deux résultats :

- Calculer l'écart normalisé défini par :

$$E_N = \frac{|c_1 - c_2|}{\sqrt{u^2(c_1) + u^2(c_2)}}$$

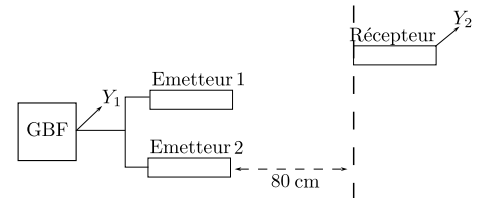
où c_1 et c_2 sont les deux valeurs de la grandeur étudiée et $u(c_1)$ et $u(c_2)$ sont respectivement les deux incertitudes-types.

- Conclure : \rightarrow Si $E_N \leq 2$, alors on peut conclure que les deux mesures sont compatibles. \rightarrow Si $E_N > 2$, les deux mesures sont incompatibles, il faut identifier la (les) cause(s) et reprendre la (les) mesure(s) : modèle erroné, protocole inadapté ou mal réalisé, incertitudes sous-évaluées pour l'un des deux processus,...

Q13 : Calculer l'écart-normalisé entre les deux valeurs de c et conclure.

III. Interférences et diffraction

- Réaliser le montage ci-contre.
- Pour obtenir deux émetteurs synchrones E1 et E2 on alimente les deux cellules en parallèle sur le **même GBF** et de manière à ce que les deux sources soient en phase.
- Vérifier que les amplitudes émises par E1 et E2 sont assez proches : même réponse V_R au récepteur pour E1 puis E2 à distance $E - R$ constante.
- Placer une feuille de papier sous le récepteur pour mesurer les déplacements.



1. Interférences

Q14 : On considère E 1 seul (débrancher E 2) : déplacer latéralement le récepteur (R) et vérifier que la tension V_R détectée varie peu. Noter sa valeur V_{R1} . Faire de même avec E2 seul.

- On considère maintenant la situation où E1 et E2 émettent simultanément en phase. Déplacer lentement le récepteur (R) de manière transversale et observer le phénomène d'interférences. Tracer la courbe donnant V_R en fonction du déplacement latéral y du récepteur. Mesurer la distance séparant plusieurs minima (ou maxima) ; en déduire l'interfrange i .

Q15 : Comme $D = 10 a$, on est dans les conditions d'utilisation de la relation classique $i = \lambda D/a$. Faire varier a ou D pour vérifier la relation $i = \lambda D/a$.

Q16 : On alimente maintenant E1 et E2 toujours à l'aide du même GBF, mais de manière à ce que E2 soit en opposition de phase avec E1(il suffit d'inverser les branchements pour un seul émetteur). Quelles sont les modifications observées sur la figure d'interférences ?