

TP Ondes

Corde de melde et ondes ultrasonores

Ce TP a pour but de visualiser et d'étudier les ondes mécaniques dans deux domaines de la physique via :

- la corde vibrante excitée ou corde de Melde ;
- la propagation des ondes ultrasonores et l'effet Doppler.

Vous rédigerez un compte-rendu détaillé récapitulant vos observations, les résultats, les réponses aux questions ainsi que d'éventuelles remarques ou commentaires. Vous veillerez particulièrement à présenter des résultats avec les unités, le plus souvent avec l'incertitude correspondante.

I. Corde de Melde

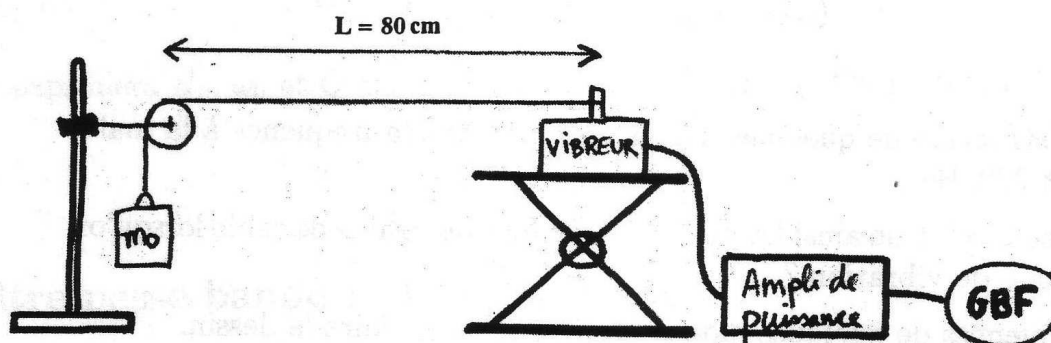
On s'intéresse à une corde de Melde excitée mécaniquement. Le but est de relever les fréquences de résonances des modes propres et de les comparer aux prévisions théoriques.

1. Étude préliminaire

- Rappeler l'expression des fréquences propres d'une corde de Melde de longueur L et de masse volumique μ tendue sous une tension T_0 .
- Mesurer la masse linéique μ de la corde fournie en utilisant une balance. Ne pas oublier l'incertitude.

2. Montage

- Réaliser le montage ci-dessous en tendant la corde avec une masse $m_0 = 200$ g. Entre la poulie et le vibreur, on réglerà la longueur de la corde à $L = 0,8$ m.



- Mesurer la résistance du vibreur. Justifier l'utilisation de l'ampli de puissance. Pourquoi ne pas brancher directement le GBF sur le vibreur ?

3. Mesures et exploitation

- En modifiant manuellement la fréquence d'excitation du vibreur, repérer, avec leur incertitude, les fréquences de résonance des modes $n = 1$ à $n = 6$. Rentrer les valeurs dans Regressi (ou Latis Pro) et tracer à l'écran la courbe f_n en fonction de n .
- En déduire la valeur expérimentale de la vitesse de propagation des ondes le long de la corde. Comparer cette valeur à la prédiction théorique.
- Tendre la corde avec des masses m de 100 g, 200 g, 300 g et 400 g. À chaque fois, relever la fréquence f_3 du mode $n = 3$. Tracer f_3 en fonction de m et ajuster avec la loi qui correspond. Comparer le coefficient d'ajustement à la théorie.

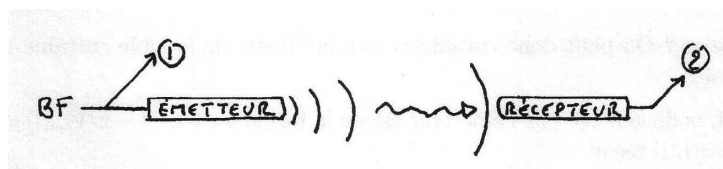
II. Ultrasons et effet Doppler

1. Le matériel

Un cristal piézoélectrique excité par un courant électrique sinusoïdal vibre et émet une onde acoustique ; inversement, excité par une onde acoustique, il vibre et génère un courant électrique.

Cela dit, la bande passante autour de la résonance est extrêmement étroite et la fréquence de résonance varie d'un cristal à l'autre avec des fluctuations plus importantes que la largeur de bande passante ; c'est pourquoi les cristaux sont accouplés par paires assorties et inséparables.

En préalable au TP, on réalise le montage suivant et l'on règle le plus finement possible la fréquence du générateur BF excitant l'émetteur pour obtenir la résonance du signal capté par le récepteur (autour de 40 kHz). On notera la valeur de cette fréquence qui sera seule utilisée dans ce TP.



2. Mesure de la vitesse du son

Avec le montage précédent, on écarte progressivement émetteur et récepteur et l'on mesure les abscisses x_i successives pour lesquelles les deux voies de l'oscilloscope sont en phase.

Vérifier que ces positions sont équidistantes et en déduire la longueur d'onde λ de l'ultrason (après s'être convaincu qu'il faut calculer non pas $(x_2 - x_1)$ mais, par exemple $(x_9 - x_1)/8$, pourquoi?).

En déduire la vitesse du son. La comparer avec le résultat théorique :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

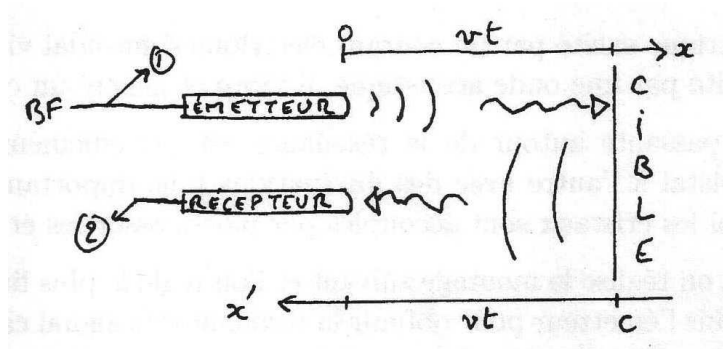
où $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $\gamma_{\text{air}} = 1,4$ et $M_{\text{air}} = 29 \cdot 10^{-3} \text{ kg.mol}^{-1}$.

Conseils pour le compte-rendu : il doit pouvoir être lu sans l'aide du texte du TP. On devra donc ici y trouver :

- le dispositif expérimental,
- le protocole suivi,
- la fréquence utilisée,
- le tableau brut des x_i
- le calcul de λ , justifié,
- le calcul de la vitesse du son qui résulte de votre expérience,
- la vitesse du son calculée par la formule, comparaison et commentaires.

3. Mise en évidence de l'effet DOPPLER

On réalise le montage ci-dessous où l'émetteur envoie une onde $a \cos(\omega t)$ vers une cible se déplaçant à la vitesse v constante, après réflexion, l'onde est captée par le récepteur placé à côté de l'émetteur. Le signal du BF et le récepteur sont branchés aux voies 1 et 2 d'un oscillo en mode bicourbe. Pour l'instant, on se contente de déplacer la cible à la main, à vitesse approximativement constante.



Que constate-on ? On peut donc considérer que la vitesse de la cible entraîne une modification de la fréquence reçue.

Détaillons : L'onde générée par l'émetteur est de la forme $a \cos[\omega(t - x/c)]$; comme le récepteur se trouve en $x = vt$, il reçoit

$$a \cos[\omega(t - vt/c)] = a \cos[\omega(1 - v/c)t] = a \cos(\omega_C t)$$

où $\omega_C = \omega(1 - v/c)$.

La cible réémet vers le récepteur une onde qui s'écrit, en prenant l'origine des x' sur la cible et le sens vers le récepteur, $b \cos[\omega_C(t - x'/c)]$ avec le récepteur en $x' = vt$; les mêmes calculs aboutissent à un signal reçu $b \cos(\omega' t)$ avec

$$\omega' = \omega_C(1 - v/c) = \omega(1 - v/c)^2 \simeq \omega(1 - 2v/c)$$

car $v \ll c$.

On en déduit :

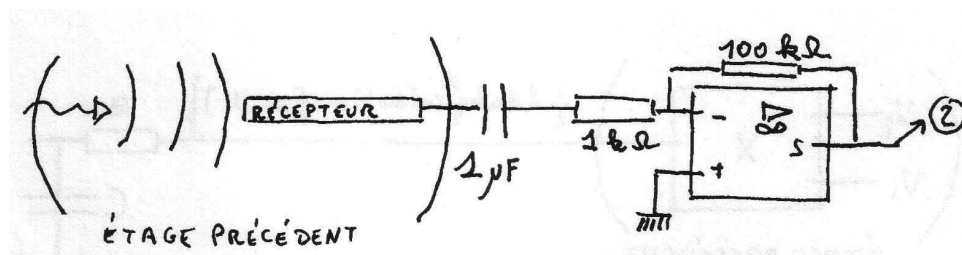
$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{(\omega' - \omega)}{\omega} = 2\frac{v}{c}$$

Le compte rendu explique cette théorie. Donner aussi quelques applications possibles.

III. Mesure de l'effet Doppler

1. Amplification du signal reçu

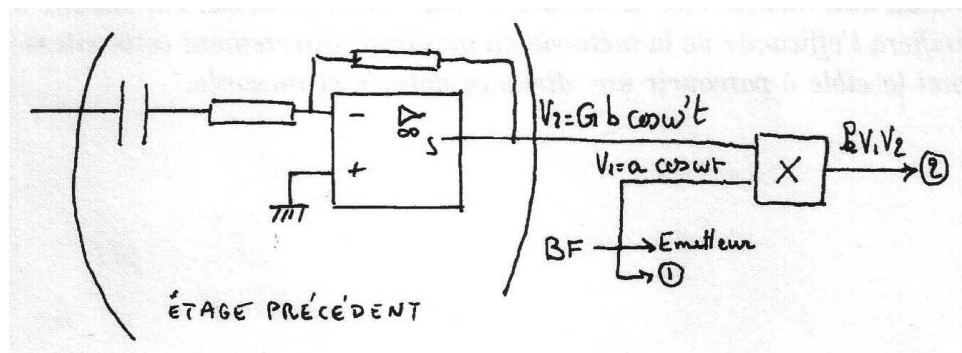
Le signal reçu a une amplitude trop faible pour être correctement traité; la cible a en effet un faible coefficient de réflexion. On l'amplifie donc par le montage classique de gain G (figure ci-dessous) où l'on a ajouté une capacité de $1\ \mu\text{F}$ pour couper une éventuelle composante continue parasite.



Réaliser ce montage, en brancher la sortie en voie 2 (avec toujours le BF sur l'émetteur et la voie 1), vérifier que ça fonctionne correctement avec la cible fixe, puis déplacée à la main. Ne passer à l'étape suivante qu'après cette vérification.

2. Multiplication du signal émis et du signal reçu

La fréquence ω' est trop proche de ω , une mesure directe serait assortie d'une incertitude de mesure plus élevée que $\Delta\omega$. Il faut donc trouver une astuce pour mesurer directement $\Delta\omega$. Cet effet on utilise un multiplicateur aux deux entrées duquel on injecte $V_1 = a \cos(\omega t)$ délivré par le BF et $V_2 = Gb \cos(\omega' t)$ délivré à la sortie de l'ampli. Il en sort $V_s = kV_1 V_2$ (typiquement $k=0,1\ \text{V}^{-1}$). Voyez le schéma ci-dessous :

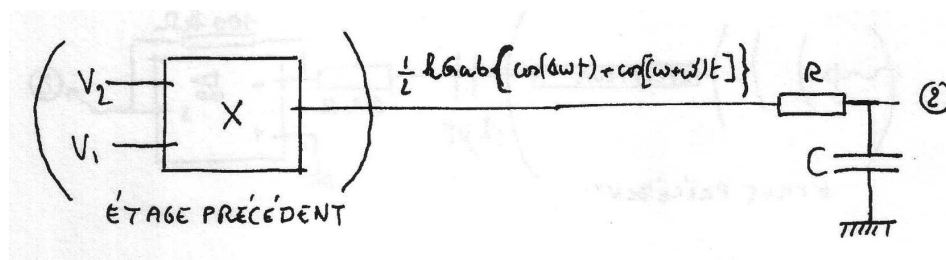


Expliciter $V_S(t)$ et linéariser pour faire apparaître un terme de fréquence $\Delta\omega$.

Réaliser ce montage, en brancher la sortie en voie 2 (avec toujours le BF sur l'émetteur et la voie 1), vérifier que ça fonctionne correctement avec la cible fixe, puis déplacée à la main. Ne passer à l'étape suivante qu'après cette vérification.

3. Filtrage du produit

On veut faire disparaître le terme de fréquence $\omega + \omega'$; pour cela on place à la sortie du multiplicateur un filtre passe-bas (voir figure ci-dessous).



Comment doit-on choisir la pulsation de coupure pour un fonctionnement correct ? Proposer des valeurs pour R et C .

Réaliser ce montage, en brancher la sortie en voie 2 (avec toujours le BF sur l'émetteur et la voie 1), vérifier que ça fonctionne correctement avec la cible fixe, puis déplacée à la main. Ne passer à l'étape suivante qu'après cette vérification.

4. Mesures

On fixe maintenant la cible sur le banc motorisé. Quand elle se déplace, que voit-on à l'oscillo ? Comme $\Delta\omega \ll \omega$,

ou bien l'oscillo est synchronisé sur la voie 1 et la voie 2 donne une quasi-droite qui oscille de haut en bas de l'écran, il suffit de chronométrer un (ou plusieurs) aller-retours pour mesurer la période correspondant à $\Delta\omega$.

ou bien il est synchronisé sur la voie 2 et l'on voit un point qui décrit très lentement une sinusoïde ; comme nous disposons d'oscillo à mémoire, c'est l'occasion de s'en servir pour enregistrer la courbe.

Le compte rendu doit mentionner la mesure de $\Delta\omega$ et son principe. En déduire la vitesse de la cible. Bien sûr, on vérifiera l'efficacité de la méthode en comparant la valeur mesurée à la valeur indiquée sur l'appareil.

Matériel

Paillasse professeur

Manip's de cours : « clap sonore » et battements sonores

- * 2 diapasons sur cavité résonante et masselote
- * Oscilloscope numérique
- * GBF
- * 2 Micros
- * Mètre

Paillasses « Corde de Melde » (3)

- * GBF Hameg + Alimentation stabilisée (± 15 V)
- * Multimètre numérique (ohmètre)
- * Câbles BNC (> 10)
- * Ordinateur avec Regressi et Latis Pro
- * Ampli de puissance
- * Vibreur
- * Boy percé pour fixer le vibreur
- * Pied + anneau (qui remplace la poulie)
- * Cordes (2 types ajustées pour 0,8 m de corde tendue)
- * Mètre
- * Masses
- * Balance (une pour les 3 postes)

Paillasses « Ultrasons et effet Doppler » (3)

- * Oscilloscope numérique
- * GBF Hameg + Alimentation stabilisée (± 15 V)
- * Support pour 2 piezo
- * Petit banc + mètre
- * Câbles coaxiaux/BNC $\times 4$
- * Câble coax/coax $\times 2$
- * « Té » coax $\times 2$
- * Fils BNC
- * Table traçante + support écran
- * Plaque LAB
- * AO 741
- * Multiplieur AD633JN + 2 capacités de protection ($1 \mu\text{F}$)
- * Capacités : $1 \mu\text{F}$, 220 nF, 10 nF, 1 nF
- * Résistances : $1 \text{ k}\Omega \times 2$, $10 \text{ k}\Omega \times 1$, $100 \text{ k}\Omega \times 2$
- * Petits fils
- * Tournevis (un seul pour les trois paillasses)