

TP OnA. Étude des propriétés d'ondes ultrasonores

Objectifs

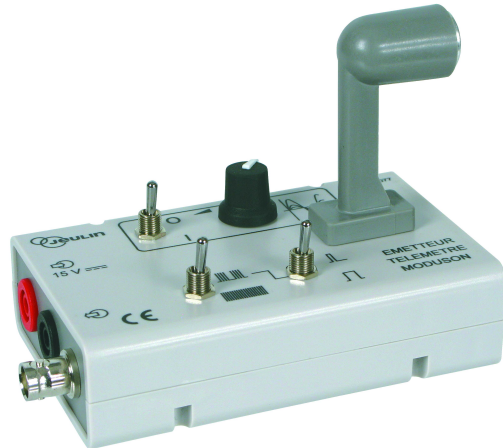
- Utilisation de transducteurs ultrasonores en émission et en réception
- Détermination de la célérité des ondes acoustiques (ultrasons) dans l'air
- Étude de l'effet Doppler au moyen d'un montage électronique de détection synchrone

1. Description du matériel

a) Émetteur et récepteur d'ultrasons

Vous disposez de trois petits appareils (transducteurs) pouvant jouer le rôle d'émetteur ou de récepteur d'ultrasons, et qui peuvent être montés sur deux boîtiers différents.

- Les petits boîtiers simples avec deux connecteurs « banane » peuvent être reliés, soit à un appareil de mesure (oscilloscope ou carte d'acquisition avec un logiciel comme Oscillo5) pour une utilisation en récepteur, soit à un GBF pour une utilisation en émetteur : on doit alors fournir un signal sinusoïdal de fréquence voisine de 40 kHz (fréquence de résonance de ces transducteurs).



- Le grand boîtier avec des boutons de réglages est utilisé uniquement en émission. Les deux connecteurs de couleur sont reliés à une alimentation continue de 15 V. Le signal fourni peut être soit rectangulaire autour de 40 kHz (la fréquence peut être ajustée pour se placer à la résonance), soit sous forme de *salves* ou *paquets d'ondes* (séries d'oscillations rectangulaires à 40 kHz séparées par des intervalles de silence) ; il y a deux longueurs possibles de salves. Le connecteur BNC peut être relié à un oscilloscope ou à une carte d'acquisition pour visualiser ce signal.

b) Mesure de distance

Les petits boîtiers récepteurs peuvent être placés sur les deux glissières parallèles graduées d'un banc acoustique. Le grand boîtier émetteur peut être placé à l'extrémité commune de ces deux glissières. On peut aussi simplement faire glisser les boîtiers le long d'une règle métallique.

2. Détermination de la célérité des ondes acoustiques

a) Méthode 1 : temps de vol d'une salve

La méthode consiste à mesurer le décalage temporel entre le début de l'émission d'une salve et le début de sa réception par un autre transducteur, placé à une distance déterminée ; on en déduit la célérité par un simple calcul.

➤ **Protocole préliminaire**

Relier l'alimentation de 15 V (bornes 0 et +15 V) au grand boîtier émetteur (interrupteurs réglés pour des salves courtes). Mettre un récepteur en face de l'émetteur, sur une glissière graduée. Relier la voie 1 de l'oscilloscope ou de la carte d'acquisition au signal de l'émetteur, et la voie 2 au signal du récepteur. Le signal observé en réception comporte un bruit important ; il est possible d'améliorer l'observation en faisant une moyenne sur plusieurs acquisitions (dans le menu *Acquire* de l'oscilloscope, choisir *Moyennage*). Observer les deux signaux sur une échelle de temps assez longue, de façon à voir plusieurs salves ; noter ce qui se passe quand on fait varier la distance entre l'émetteur et le récepteur.

➤ **Question 1**

Expliquer la déformation du signal fourni par le récepteur par rapport au signal envoyé sur l'émetteur.

➤ Protocole 1

Proposer et mettre en œuvre un protocole pour mesurer, le plus précisément possible, la vitesse des ultrasons dans l'air à partir de ces observations. Donner les résultats détaillés de vos mesures et calculs.

b) Méthode 2 : étude des déphasages

On émet cette fois un signal sinusoïdal (de façon continue et non par salves), et on observe, sur une échelle de temps beaucoup plus courte que précédemment, le déphasage entre l'onde émise et l'onde reçue, en fonction de la distance. Cela permet de mesurer la longueur d'onde et d'en déduire la célérité des ondes.

➤ Protocole 2

Utiliser pour l'émetteur un petit boîtier simple alimenté par le GBF ; sur celui-ci, régler une tension sinusoïdale de fréquence 40 kHz et d'amplitude maximale. Relier maintenant les deux signaux à l'oscilloscope. Observer comment évolue le déphasage entre les deux courbes quand on fait varier la distance entre l'émetteur et le récepteur. En déduire un protocole pour déterminer très précisément la longueur d'onde, puis calculer la célérité.

c) Comparaison des résultats

➤ Question 2

Comparer les résultats obtenus par les deux méthodes, ainsi que la valeur attendue, et commenter.

3. Étude de l'effet Doppler sur des ultrasons

a) Rappels sur l'effet Doppler

Lorsque l'émetteur E d'une onde acoustique (ou autre), de fréquence f , se déplace par rapport au récepteur R à une vitesse $\vec{v}$, celui-ci perçoit une onde de fréquence différente : $f' = f \left(1 + \frac{v \cos \alpha}{c} \right)$.



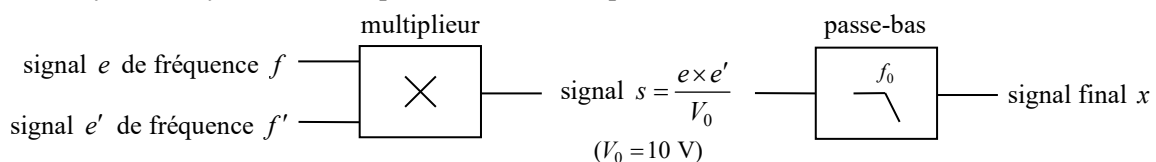
Si l'émetteur se déplace dans la direction du récepteur, $\alpha = 0$ donc $f' = f \left(1 + \frac{v}{c} \right)$, d'où $\Delta f = f' - f = f \frac{v}{c}$.

La mesure de Δf permet de calculer la vitesse v de l'émetteur si on connaît f et la célérité c des ondes. Cependant, si l'on mesure simplement la fréquence f' du signal reçu, la précision des appareils ne permet pas toujours de déterminer correctement la différence $\Delta f = f' - f$, car en pratique $v \ll c$ donc $\Delta f \ll f$.

b) Détermination de la vitesse de l'émetteur par détection synchrone

• Principe de la détection synchrone

Pour déterminer précisément une petite différence de fréquence Δf entre deux signaux, l'idée est de créer un signal de fréquence Δf , au moyen d'un multiplieur et d'un filtre passe-bas.



- Calcul du signal final

Le signal à analyser $e'(t) = B \cos(\omega' t + \varphi) = B \cos(2\pi f' t + \varphi)$ est multiplié par $e(t) = A \cos(\omega t) = A \cos(2\pi f t)$ au moyen d'un circuit multiplieur (ou mélangeur), ce qui donne :

$$s(t) = \frac{AB}{V_0} \cos(\omega t) \cos(\omega' t + \varphi) = \frac{AB}{2V_0} [\cos(\omega' t + \omega t + \varphi) + \cos(\omega' t - \omega t + \varphi)] = \frac{AB}{2V_0} [\cos(\omega' t + \omega t + \varphi) + \cos(\Delta\omega t + \varphi)].$$

Ici $f = 40 \text{ kHz}$, $\frac{v}{c} \approx \frac{0,3}{340} \approx 10^{-3}$ donc $f + f' \approx 80 \text{ kHz}$ et $\Delta f \approx 40 \text{ Hz}$.

Le premier terme sera très atténué à la sortie d'un passe-bas de fréquence de coupure $f_0 \approx 1 \text{ kHz}$ à 2 kHz , et le signal final contient donc uniquement le deuxième terme : $x(t) = \frac{AB}{2V_0} \cos(\Delta\omega t + \varphi)$. On peut l'afficher à l'oscilloscope et déterminer simplement sa fréquence Δf .

c) Mise en œuvre

➤ Protocole 3

– Connecter le circuit multiplieur à son alimentation symétrique $+15 \text{ V} / -15 \text{ V}$. Puis relier ses bornes de sortie à l'entrée d'un montage passe-bas RC du premier ordre, dont on choisira les composants judicieusement.

On peut éventuellement tester l'ensemble du dispositif électronique ci-dessus en fournissant les deux signaux e et e' avec deux GBF, et en mesurant la fréquence du signal final x .

– Placer face à face sur une glissière un émetteur (sinusoïdal) et un récepteur. Relier leurs deux signaux aux entrées X1 et Y1 du multiplieur.

– Déplacer, avec une vitesse constante autant que possible, l'émetteur le long de la glissière. Enregistrer alors le signal final x avec la fonction *Single* (mode monocoup) de l'oscilloscope ; on peut appuyer plusieurs fois sur *Single* pendant le mouvement, jusqu'à l'obtention d'un signal sensiblement sinusoïdal.

– Évaluer grossièrement la vitesse v à laquelle le chariot a été déplacé. Mesurer la fréquence du signal x et en déduire la valeur précise de v . Comparer à l'estimation initiale.