

G7. Ultrasons

I. INTRODUCTION

Cette expérience, qui couvre les domaines de *l'acoustique géométrique* et de *l'acoustique ondulatoire*, met en oeuvre des ondes ultrasonores dont les fréquences (~ 40 kHz) sont au-delà du seuil d'audibilité de l'oreille humaine.

Les ultrasons y sont produits par un *résonateur piézoélectrique*. Ce résonateur est constitué d'une plaque en céramique diélectrique prise entre les deux électrodes d'un condensateur. Si une tension électrique alternative est appliquée aux électrodes du condensateur, des oscillations mécaniques de flexion sont induites dans la plaque céramique (*effet piézoélectrique*). Ce système travaille à la résonance propre de la plaque céramique. Sur la face supérieure de cette plaque, on a collé un petit cône métallique qui permet la conversion des vibrations de flexion en un champ acoustique ultrasonore directif dans l'air.

La conversion électrique-mécanique de ces transducteurs est parfaitement réversible, ce qui permet de les utiliser soit comme émetteur d'ultrasons, soit comme récepteur d'ultrasons.

En effet, une onde ultrasonore peut induire des vibrations du résonateur en céramique. Par effet piézoélectrique, ces vibrations génèrent alors une tension électrique aux bornes de la céramique, tension qui peut être amplifiée aisément.

II. MATERIEL A DISPOSITION

- Un *banc de mesure*, avec des transducteurs présentant des résonances mécaniques à 40 et 48.6 kHz, sur lequel on peut mesurer la bande passante des transducteurs résonnants, mesurer la vitesse des ondes ultrasonores en mode continu ou pulsé et observer les battements entre deux ondes ultrasonores,
- Des transducteurs, logés dans des boîtes cylindriques en métal, dont les bornes de connexions électriques sont *noire* (masse) et *rouge ou jaune* (signal).
- Un *générateur d'émission* permettant de travailler en ondes continues ou en train d'ondes pulsées.
- Un *amplificateur de réception* qui peut être utilisé en simple amplificateur pour la visualisation, ou en *amplificateur redresseur* pour la mesure de l'onde reçue. Il peut être parfois nécessaire de charger la sortie de ces amplificateurs par une résistance de l'ordre de $1\text{ k}\Omega$, placée sur l'entrée de l'oscilloscope, afin d'éliminer les perturbations électriques à 50 Hz.
- un *générateur de fonctions*, ainsi que des *fréquencemètres*.
- un *oscilloscope* et un *traceur X-Y*, qui seront utilisés pour la visualisation des phénomènes.

Lors de chaque montage sur un des bancs de mesure, pour s'assurer des conditions optimales de manipulation, il faut tout d'abord effectuer l'alignement géométrique des transducteurs d'émission et de réception. Une fois placé dans les conditions optimales d'alignement, il faut régler au mieux la fréquence des générateurs sur une des deux fréquences de résonance des transducteurs. Ensuite, on peut régler les gains des amplificateurs, les échelles de l'oscilloscope, etc.

III. MANIPULATIONS

1) Réponse fréquentielle des transducteurs résonnants

Les transducteurs utilisés présentent une *réponse fréquentielle* avec deux *pics de résonance* très marqués. La réponse du transducteur peut être mesurée avec le montage de la figure 1.

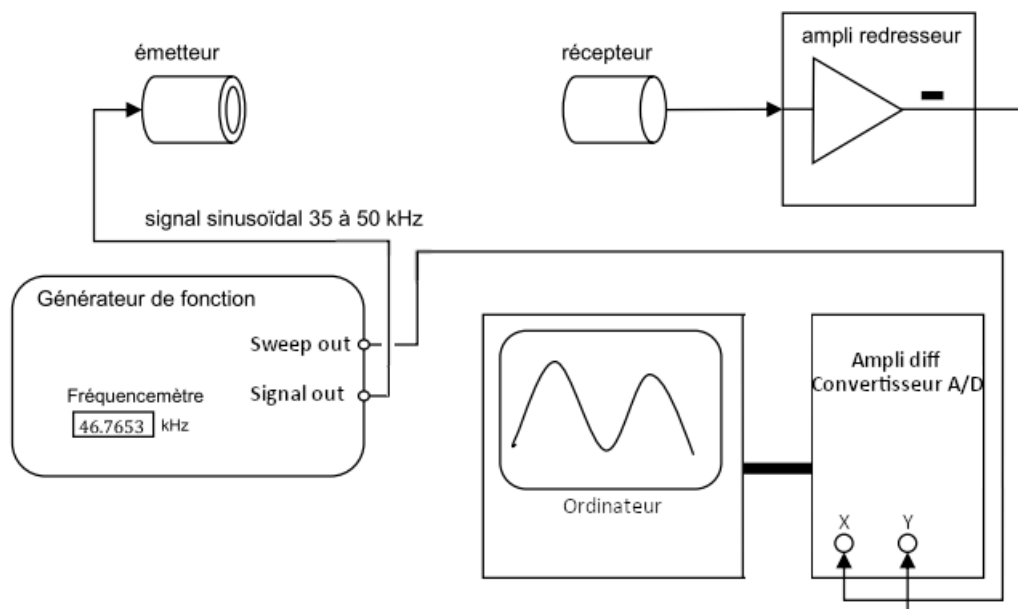


Fig 1 : Montage expérimental.

Travail à réaliser : Faire varier la fréquence de l'émetteur entre 35 et 50 kHz avec la fonction "frequency sweep" du générateur. Mesurer l'amplitude de la réponse (*bande passante* de l'ensemble émetteur-récepteur) avec le programme PlotterXY en fonction de la fréquence (la sortie « sweep out » du générateur donne une tension proportionnelle à la fréquence). Faire un graphique de la réponse en fonction de la fréquence. Discuter.

2) Mesure de la vitesse du son en ondes continues

La *vitesse du son* c est reliée à la *longueur d'onde* λ et à la *fréquence* f par la relation

$$c = \lambda f$$

Dans le montage reporté à la figure 2, on synchronise le balayage horizontal d'un oscilloscope sur l'onde continue transmise par l'émetteur et on visualise l'onde reçue au niveau du récepteur. Si on modifie la distance d séparant l'émetteur du récepteur, on voit défiler les oscillations de l'onde sur l'écran de l'oscilloscope. Pour chaque défilement d'une période de l'oscillation, la distance d est modifiée d'une longueur d'onde λ .

Travail à réaliser : Faire varier la distance d séparant l'émetteur et le récepteur, de sorte à déplacer l'onde sur l'oscilloscope d'un nombre entier d'oscillations (par exemple prendre des mesures pour n entre 1 et 20), et calculer la vitesse du son à partir des résultats obtenus. Discuter de la précision des résultats.

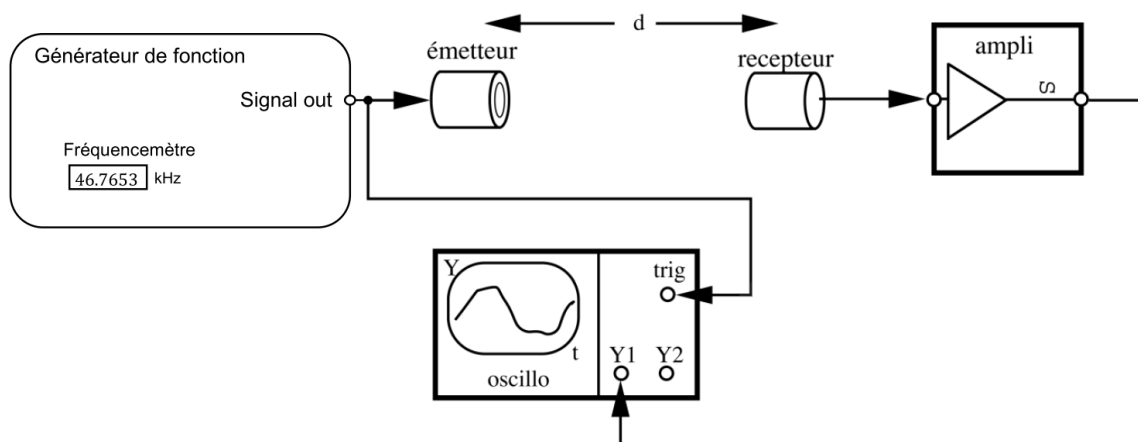


Fig 2 : Schéma expérimental pour les ondes continues.

3) Mesure de la vitesse du son en ondes pulsées

Avec le montage de la figure 3, on construit un système identique aux *sonars* ou aux *radars*. Une *pulse d'ondes* est envoyée régulièrement plusieurs centaines de fois par seconde par l'émetteur. Ce pulse est réfléchi par un obstacle (ici la plaque métallique) et revient sur le récepteur. Si on visualise le pulse reçu sur l'écran d'un oscilloscope synchronisé sur le pulse émis, on peut observer le *temps de retard* τ du signal reçu après avoir parcouru la distance $2d$.

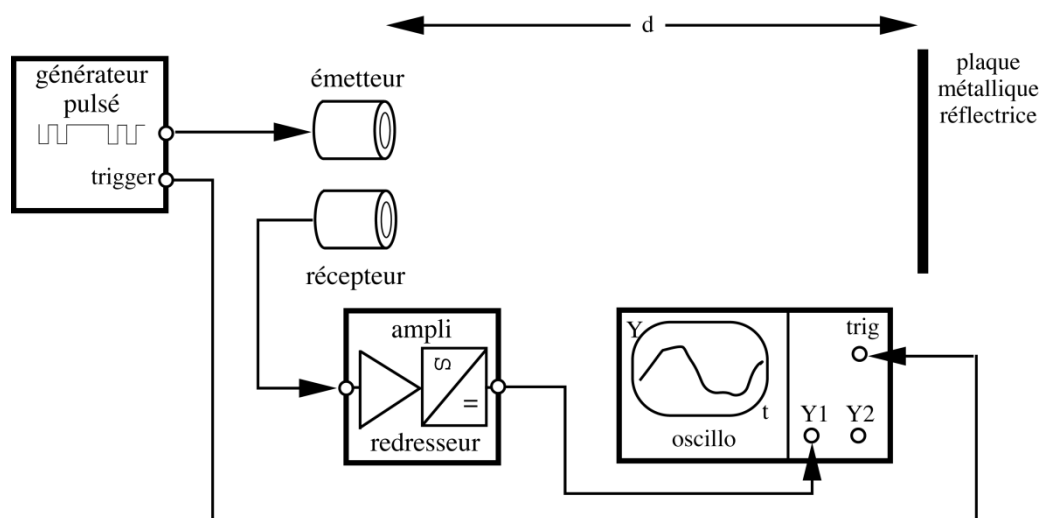


Fig 3 : Schéma expérimental pour les ondes pulsées.

Travail à réaliser : Faire varier la distance d séparant les transducteurs et la plaque, et mesurer la variation du temps de vol Δt du signal. Utiliser cette information pour déterminer la vitesse du son. Discuter de la précision de ce résultat, et comparer avec la mesure en ondes continues

4) Phénomène d'interférences temporelles (battements) entre deux ondes

Lorsque deux ondes de fréquences f_1 et f_2 légèrement différentes se superposent, il y a apparition d'un phénomène d'*interférences temporelles* appelées *battements*. En fait, la superposition des deux ondes s'écrit, en un point donné de l'espace

$$A(t) = A_1 \sin(2\pi f_1 t + \phi_1) + A_2 \sin(2\pi f_2 t + \phi_2)$$

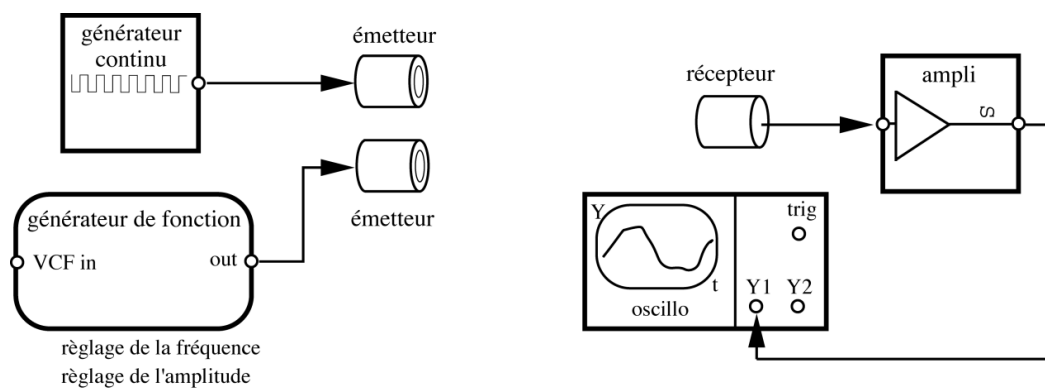


Fig 4 : Schéma expérimental pour les interférences.

Dans le cas simple où les amplitudes A_1 et A_2 et les phases ϕ_1 et ϕ_2 sont identiques, on peut écrire la superposition d'ondes sous la forme d'un produit qui fait apparaître une onde de fréquence moyenne $(f_1 + f_2)/2$ *modulée en amplitude* avec une fréquence

$$A(t) = 2A \cos\left(2\pi \frac{|f_1 - f_2|}{2} t\right) \sin\left(2\pi \frac{f_1 + f_2}{2} t\right)$$

Travail à réaliser : Réaliser le montage de la figure 4, et observer les phénomènes de battements en faisant varier les fréquences f_1 et f_2 , ainsi que les amplitudes A_1 et A_2 . Comparer les résultats obtenus expérimentalement (valeurs numériques) aux résultats théoriques.

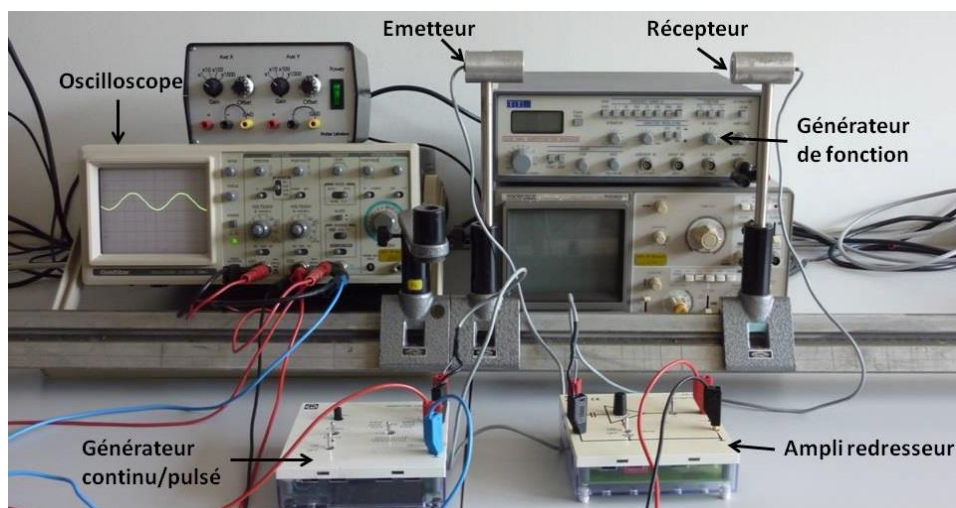


Fig. 5 : Image du montage pour étudier les ultrasons