

La vitesse du son

Le but est de déterminer la célérité du son dans l'air.

1. Introduction

La vibration des cordes vocales, ou celle de la membrane d'un haut-parleur, engendre des ondes sonores. L'oreille humaine perçoit les sons de fréquences comprises entre 20 Hz et 20000 Hz environ. Les ultrasons sont des ondes sonores inaudibles pour l'oreille humaine. La fréquence des ultrasons est supérieure à 20000 Hz.

Un émetteur d'ultrasons émet une onde ultrasonore.

Un récepteur d'ultrasons transforme l'onde ultrasonore à l'endroit où il est situé, en une tension électrique.

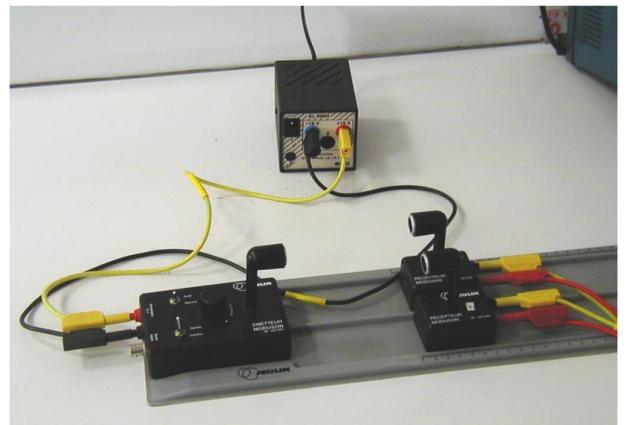
L'émetteur à ultrasons peut émettre des salves d'ultrasons ou des ondes périodiques.

2. Le protocole

- *Émission et réception des ultrasons*

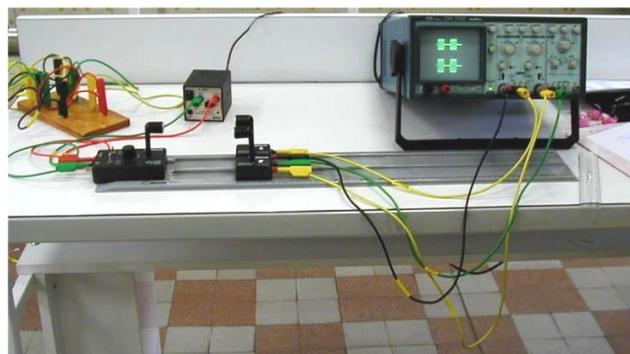
L'émetteur et son alimentation (-15V / 15 V), les 2 récepteurs reliés chacun à une voie de l'oscilloscope.

- *Le banc acoustique et la visualisation à l'oscilloscope*



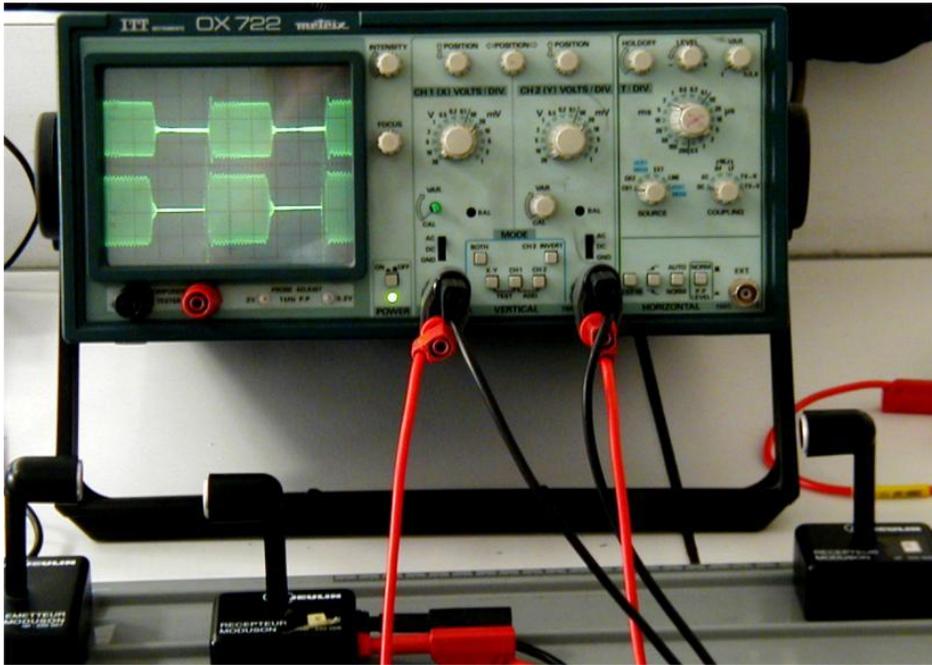
Le banc acoustique : l'émetteur au premier plan, face aux 2 récepteurs, chacun relié à une voie de l'oscilloscope.

- *Synchronisation des salves reçues*



Les salves synchrones à l'oscilloscope: l'émetteur à gauche et les 2 récepteurs côte à côte.

- *Éloignement d'un des 2 récepteurs:*



Le retard d'une salve : l'émetteur à gauche et les 2 récepteurs décalés.

A partir de la situation précédente où les salves étaient synchrones, on éloigne d'une **distance « d »** (la plus grande possible) un récepteur par rapport à l'autre. Le son met plus de temps pour parvenir à ce récepteur et celui-ci montre **un décalage temporel Δt** du signal qu'il reçoit.

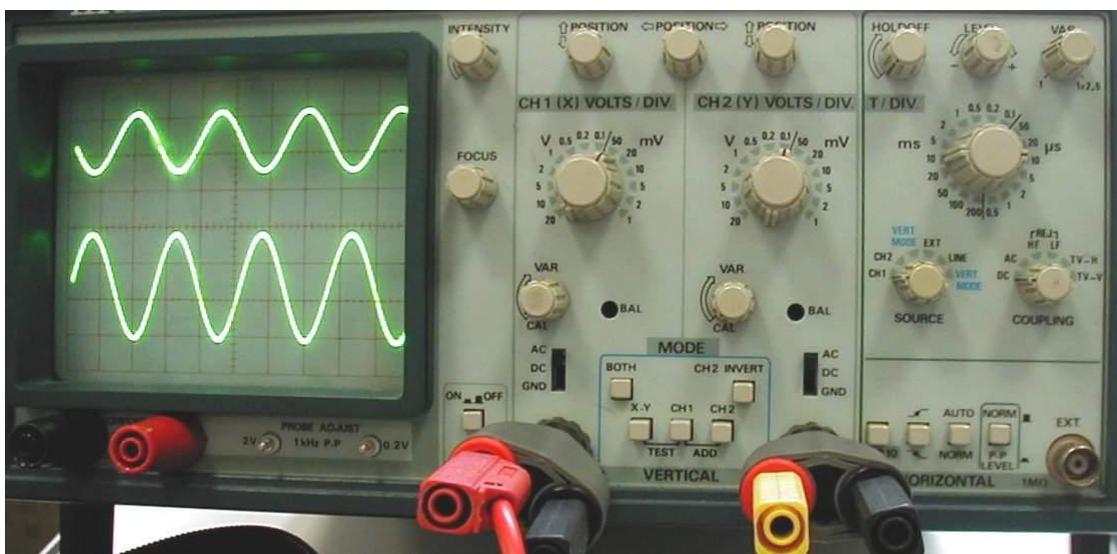
Ce retard Δt est mesuré à l'oscilloscope : si à l'écran les salves sont décalées horizontalement de 0,3 division et que la base de temps est réglée sur 5 ms/div, le retard vaut :

$$\Delta t = 0,3 * 5 \Rightarrow \Delta t = 1,5 \text{ ms.}$$

Si le déplacement du récepteur est $d = 50 \text{ cm}$, cela fait une célérité du son :

$$V = \frac{d}{\Delta t} = 0,5 / 1,5 \cdot 10^{-3} \quad V = 330 \text{ m.s}^{-1}.$$

3. Mesure de la période, calcul de la fréquence, mesure de la longueur d'onde, calcul de la célérité



Le récepteur est sur le mode continu: il émet une onde ultrasonore sinusoïdale de fréquence unique (son pur).

A l'oscilloscope on lit la sensibilité de la base de temps: $10 \mu\text{s}/\text{div}$. Sur l'écran, 3 périodes correspondent à $0,2 + 7 + 0,3 = 7,5$ divisions. **La période** vaut $T = 7,5 / 3 * 10 \Rightarrow T = 25 \mu\text{s}$.

On en déduit **la fréquence** des ondes ultrasonores: $f = 1 / T = 1 / (25 * 10^{-6}) \Rightarrow f = 40\,000$ Hz. Il s'agit bien d'ultrasons. Les 2 sinusoïdes de l'écran ont la même période et elles sont en opposition de phase.

En éloignant un récepteur par rapport à l'autre, une sinusoïde défile. Les sinusoïdes étant initialement en phase (les maxima "coïncident»), elles se retrouvent en phase lorsque le récepteur mobile s'est éloigné de l'autre d'un nombre entier de **longueurs d'onde**. On compte alors le nombre « n » de « coïncidences » et on mesure sur le banc acoustique la distance « d » parcourue par le récepteur que l'on a déplacé. On en déduit la longueur d'onde $\lambda = d / n$. *Il faut procéder lentement et couvrir la plus grande distance possible pour avoir le bon nombre n et la meilleure précision sur d.*

Par exemple si l'on a compté sur l'écran 40 coïncidences et que le récepteur s'est déplacé de 35 cm sur le banc acoustique, $\lambda = 35 / 40 = 0,875$ cm.

On calcule la célérité des ultrasons dans l'air : $V = \lambda * f$.

Dans notre cas, $V = 0,875 \cdot 10^{-2} \cdot 40\,000 \quad V = 350 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.