

## 1. ONDES ULTRASONORES

---

### I. Dispositif expérimental

1 Ensemble pour l'étude des ultrasons      1 Générateur de fonctions      2 Tés pour câbles coaxiaux  
1 Millivoltmètre alternatif                      1 Oscilloscope

Le dispositif expérimental permet de produire et d'étudier des ondes ultrasonores (figure 1). Il est constitué d'un émetteur, alimenté par générateur de fonctions, et d'un récepteur dont le signal est amplifié.

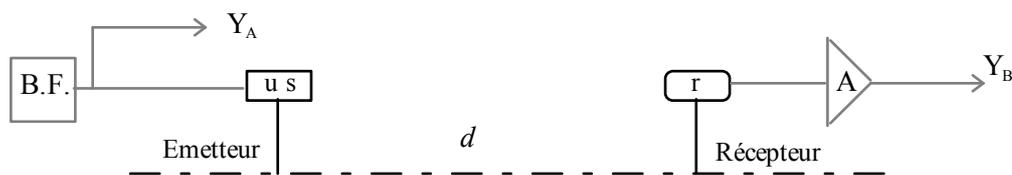


Figure 1 : schéma de principe du montage pour l'étude des ultrasons

L'émetteur et le récepteur sont réalisés à partir d'un cristal piézo-électrique dont le fonctionnement est réversible : quand il est soumis à une tension sinusoïdale il vibre à la fréquence de cette tension, produisant ainsi dans l'air environnant une onde progressive de pression. Symétriquement, quand il reçoit une onde de pression sinusoïdale, il produit une tension sinusoïdale de même fréquence, image de la vibration du cristal. Le principe est donc analogue à celui d'un micro et d'un haut parleur, seul le domaine des fréquences change : 10 Hz à 20 KHz pour les ondes sonores, au delà de 20 kHz pour les ultrasons.

#### 1) Oscillations amorties et résonance de l'émetteur et du récepteur

##### a) Principe

Rappelons que le cristal émetteur est *excité* par une tension appliquée alors que le cristal récepteur est excité par l'onde ultrasonore de pression qu'il reçoit. Le cristal est un oscillateur harmonique, il se comporte comme un ressort :

- quand il reçoit une brève impulsion mécanique ou électrique, il oscille librement de façon amortie avec une fréquence caractéristique  $f_0$  qui est sa *fréquence propre*.
- quand il est excité sur un mode sinusoïdal, il vibre sinusoïdalement avec la même fréquence, mais la vibration mécanique du cristal (émetteur ou récepteur) n'a pas la même efficacité suivant la fréquence de l'excitation. Pour une fréquence proche de sa fréquence propre, il vibre avec une amplitude maximale : il entre en *résonance*.

##### b) Réalisation expérimentale

Placer le récepteur au voisinage de l'émetteur (figure 1). Alimenter l'émetteur avec le générateur de fonctions ; observer à l'oscilloscope uniquement le signal du récepteur.

##### (1) Oscillation amortie du cristal récepteur :

Utiliser un signal d'entrée carré de fréquence inférieure à 100 Hz dont le front de montée simule une impulsion. Observer et interpréter les oscillations amorties du récepteur.

## (2) Résonance du cristal émetteur et récepteur :

Utiliser un signal d'entrée sinusoïdal. Explorer rapidement une large plage de fréquences (0 à 100 kHz) pour rechercher les fréquences de résonances (amplitude du signal maximale). Déterminer la fréquence de la résonance la plus forte.

**Remarque :** si le signal est saturé, c'est à dire si la sinusoïde est écrêtée, diminuer l'amplitude du signal émetteur.

## 2) L'onde progressive ultrasonore

### a) Éléments théoriques

L'onde ultrasonore est une onde *longitudinale* : les tranches d'air mises en mouvement par la surface du cristal émetteur vibrent parallèlement à cette surface ; la vibration se propage de proche en proche jusqu'à la surface du cristal récepteur. On peut modéliser les déplacements vibratoires de l'émetteur et du récepteur par leurs élongations :

$$y_e = a \cos(\omega t) \quad \text{et} \quad y_r = a \cos\left[\omega\left(t - \frac{d}{c}\right)\right]$$

avec  $\omega$  la pulsation de la vibration,  $d$  la distance parcourue par l'onde entre l'émetteur et le récepteur et  $c$  sa vitesse de déplacement ou *célérité*. En effet, le récepteur vibre comme l'émetteur, mais avec un temps de *retard* :

$$t_r = d/c$$

Le déphasage entre les deux vibrations est donc :

$$\varphi = \omega \frac{d}{c} = 2\pi \frac{d}{\lambda} \quad \text{avec} \quad \lambda = cT = c/f$$

$\lambda$  est la longueur d'onde de l'onde ultrasonore et  $T$  la période de la vibration. Si l'on maintient l'émetteur fixe et que l'on déplace le récepteur d'une longueur  $\Delta d$ , le retard et le déphasage du récepteur vont varier respectivement de :

$$\boxed{\Delta t_r = \frac{\Delta d}{c}} \quad \text{et} \quad \boxed{\Delta \varphi = 2\pi \frac{\Delta d}{\lambda}}$$

En pratique, quand on déplace le récepteur sur la règle on observe à l'oscilloscope un déplacement de la sinusoïde du signal récepteur. Si la sinusoïde est déplacée de  $k$  périodes ( $\Delta \varphi = k \times 2\pi$ ) c'est que l'émetteur a été déplacé de  $k$  longueurs d'onde. La mesure de la longueur d'onde (ou de  $k \times \lambda$ ) se fait donc directement sur la règle.

### b) Expériences

Observer les deux signaux (émetteur et récepteur) à l'oscilloscope (figure 1).

#### (1) Retard entre l'émetteur et le récepteur :

Utiliser un signal d'entrée carré de fréquence inférieure à 100 Hz. Observer et interpréter le décalage temporel entre le front de montée ou de descente du signal émetteur et le début de l'oscillation amortie du récepteur.

Déplacer le récepteur d'une distance  $\Delta d$  ; mesurer le décalage temporel qui en résulte pour le signal du récepteur. En déduire la célérité de l'onde ultrasonore. Comparer avec la valeur acceptée (évaluer le désaccord).

#### Remarques :

1. Valeur acceptée pour la vitesse du son dans l'air :  $c = 331,6 + 0,6 \theta \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  avec  $\theta$  en °C.
2. Le désaccord entre une valeur acceptée  $x_0$  et une valeur mesurée  $x_m$  est égal à l'écart relatif  $|(x_m - x_0)/x_0|$  entre ces deux valeurs, exprimé en pourcentage.

## (2) Mesure de la longueur d'onde

Utiliser maintenant un signal d'entrée sinusoïdal ayant la fréquence propre du cristal. Observer à l'écran la progression de l'onde quand on déplace le récepteur et mesurer la longueur d'onde par la méthode pratique décrite au paragraphe a).

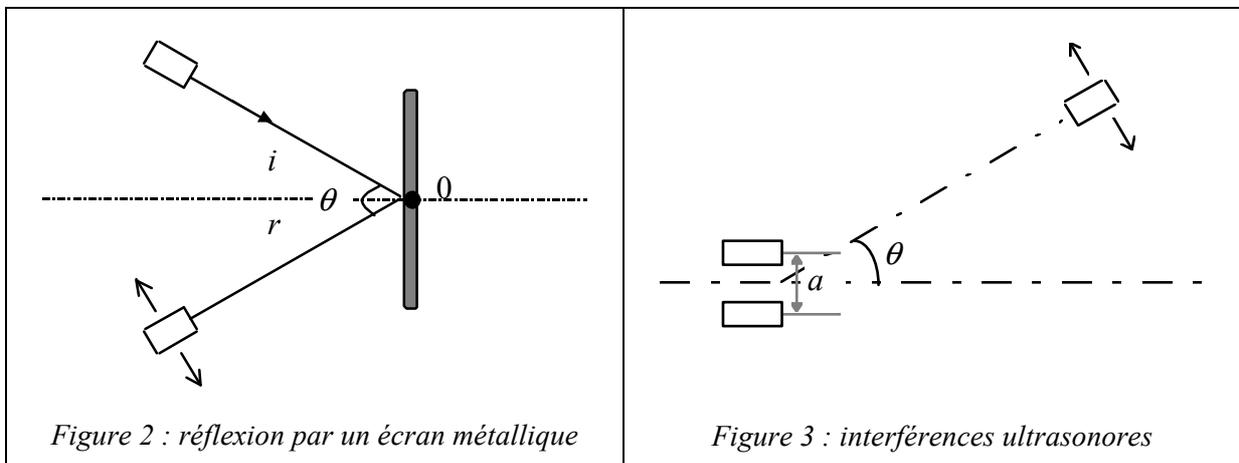
**Remarque :** on peut améliorer la précision de la mesure en utilisant le bouton d'expansion de la base de temps  $\times 10$  de l'oscilloscope.

## 3) Réflexion de l'onde ultrasonore

Tout comme une onde lumineuse, une onde ultrasonore peut être réfléchi, transmise et réfractée. L'équivalent du miroir ou de la lame de verre est un écran métallique placé sur l'axe de rotation de l'ensemble (figure 2). L'angle de réflexion correspond à l'amplitude maximale du signal récepteur.

Procédure expérimentale : fixer l'angle total  $\theta$  et rechercher la position de l'écran qui donne le signal réfléchi d'amplitude maximale. En déduire les angles incidents et réfléchis. Pour une meilleure précision, faire deux mesures indépendantes (une par étudiant) pour chaque angle  $\theta$ .

Regrouper les résultats dans un tableau et tracer  $r$  en fonction de  $i$ . Conclure.



## 4) Interférences de deux ondes ultrasonores

### a) Éléments théoriques

*La théorie est analogue à celle des interférences de deux ondes lumineuses : on observe des franges d'interférence c'est à dire des zones alternativement sombres et lumineuses face aux deux sources émettrices. Avec les ultrasons, on observe des minima et des maxima ultrasonores quand on déplace le récepteur sur un arc de cercle centré sur les émetteurs (*

figure 3). La position du maximum d'ordre  $k$  ( $k$  ième maximum à partir du centre) est donnée par :

$$\sin \theta_k = k \frac{\lambda}{a}$$

Le maximum d'ordre zéro ( $k = 0$ ) est situé sur l'axe du système.

### b) Expérience

Alimenter les deux sources avec une même tension sinusoïdale. Observer les minima et maxima d'amplitude quand on déplace le récepteur en arc de cercle. Mesurer l'angle entre les maxima d'ordre 1 et  $-1$ . Comparer avec la valeur théorique.