

## TP : L'émetteur-récepteur ultrasons, un filtre sélectif.

Les ultrasons correspondent à des ondes acoustiques dont la fréquence est supérieure à la bande de fréquence audible par l'homme allant de 20 Hz à 20 kHz. Les fréquences des ultrasons sont donc de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de kilohertz. Ils sont utilisés pour un certain nombre d'applications. Dans le règne animal, il permet aux chauve-souris, aux cétacés à certains oiseaux de se localiser par rapport à un obstacle. Le principe est le même pour les dispositifs d'aide au stationnement des voitures. L'émetteur d'ultrasons envoie une salve d'ultrasons en direction de l'obstacle qui les réfléchit. Le décalage temporel entre émission et réception de l'écho est utilisé pour estimer la distance de l'obstacle. La cartographie des fonds marins utilise aussi les ultrasons car les ondes électromagnétiques ne se propagent pas dans les milieux conducteurs sur le plan électrique comme l'est l'eau de mer du fait d'une présence importante d'ions en particulier les ions sodium  $\text{Na}^+$  et chlorure  $\text{Cl}^-$ .

L'application sans doute la plus connue des ultrasons est l'échographie médicale. Il faut distinguer l'échographie traditionnelle de l'échographie DOPPLER. La première est basée sur la mesure de la durée qui sépare l'émission de la réception ainsi que sur la mesure de l'énergie réfléchie qui sera fonction du type de matériau rencontré lorsque l'onde se propage dans le corps. L'échographie DOPPLER est utilisée lorsque le réflecteur de l'onde est en mouvement relatif par rapport à la source. Dans ce cas de figure, la fréquence de l'onde ultrasonore réfléchie ne possède pas la même fréquence que celle de l'onde émise. De la comparaison de ces deux fréquences, on déduit la vitesse du réflecteur. On peut observer de façon non invasive, l'écoulement du sang dans les artères et les veines. Dans ce cas, ce sont les structures relativement grosses comme les globules rouges qui servent de réflecteur. On obtient ainsi une cartographie assez précise des écoulements dans une jambe pour tout ce qui concerne les problèmes de varices.

L'émetteur est aussi appelé transducteur et plus précisément transducteur piézoélectrique. La céramique piézoélectrique se comprime et se détend sous l'effet de la tension alternative d'alimentation. Ces compressions et détentes sont transmises à l'air et constituent l'onde ultrasonore.

### 1 Objectifs

Lors de ce TP, nous allons étudier certaines caractéristiques de l'ensemble émetteur-récepteur ultrasons. L'émetteur du dispositif étant identique au récepteur, leur rôle peut être permuté. On alimente l'émetteur avec une tension électrique alternative fournie par un générateur basse fréquence. On étudiera l'évolution de l'amplitude de l'onde émise en fonction de la fréquence de la tension électrique d'alimentation de l'émetteur. C'est dans cette étude que l'on modélisera l'émetteur-récepteur ultrasons comme un filtre.

Dans un second temps, on s'intéressera aux caractéristiques spatiales de l'émission ultrasonore à fréquence donnée. D'une part, on évaluera l'évolution de l'amplitude captée au niveau du récepteur en fonction de la distance le séparant de l'émetteur. D'autre part, on se penchera sur la directivité du rayonnement ultrasonore produit par l'émetteur. Il s'agit d'étudier l'évolution de l'amplitude en fonction d'une direction d'observation repérée par rapport à la normale à la face de sortie de l'émetteur.

Ces études ont pour objectif de concrétiser les notions de filtre et de diagramme de rayonnement (distance et direction) avec un dispositif que nous retrouverons dans l'étude de l'effet DOPPLER.

### 2 Matériel

Le matériel dont nous disposons est donc un GBF traditionnel *Owon*, un émetteur et un récepteur ultrasonore de fréquence nominale  $f_{cent} \simeq 40 \text{ kHz}$  supportant des tensions allant jusqu'à une dizaine de volts. Les mesures seront réalisées essentiellement à l'oscilloscope *Agilent*. On pourra être amené à utiliser entre le récepteur et l'oscilloscope, un amplificateur *Ovio* dédié aux transducteurs que nous utilisons. Ce dispositif peut être complété par une carte d'acquisition *Sysam SP5* si vous le souhaitez. Afin de travailler dans des conditions assurant une certaine précision, les transducteurs seront placés sur des supports que l'on pourra déplacer sur un banc d'optique. Ce banc est qualifié d'optique car son utilisation est plus fréquente dans les TP concernant la lumière que celui des ondes ultrasonores. La figure 1 vous présente un panorama du matériel décrit ci-dessus à l'exception de la carte d'acquisition. Vous pourrez noter la présence d'un support un peu particulier.

Sur la figure 2, vous pouvez voir les graduations angulaires présentes sur ce support qui tient sur sa base uniquement par aimantation ! **Attention à ne pas faire tomber le transducteur piézoélectrique, il serait vraisemblablement détruit.**

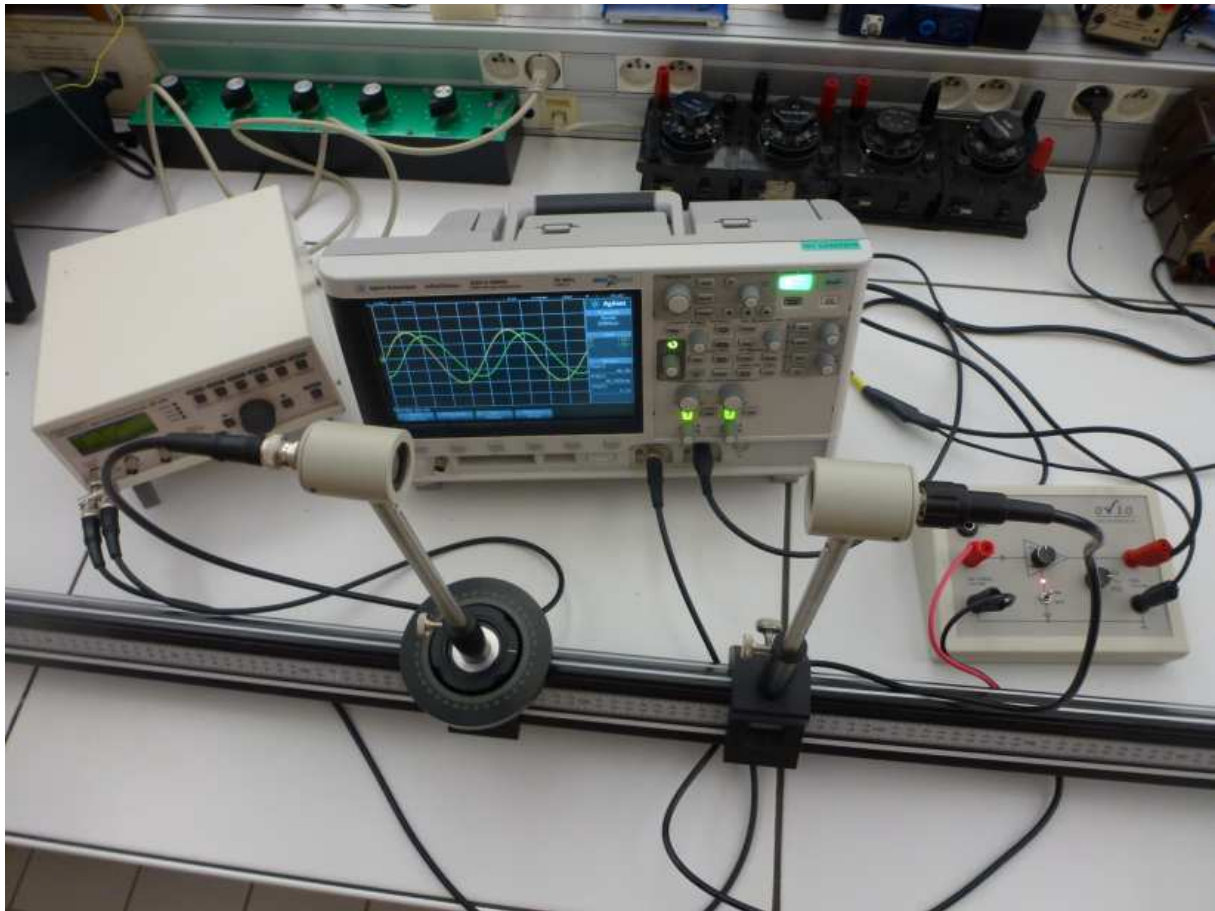


FIGURE 1 – Ensemble du matériel

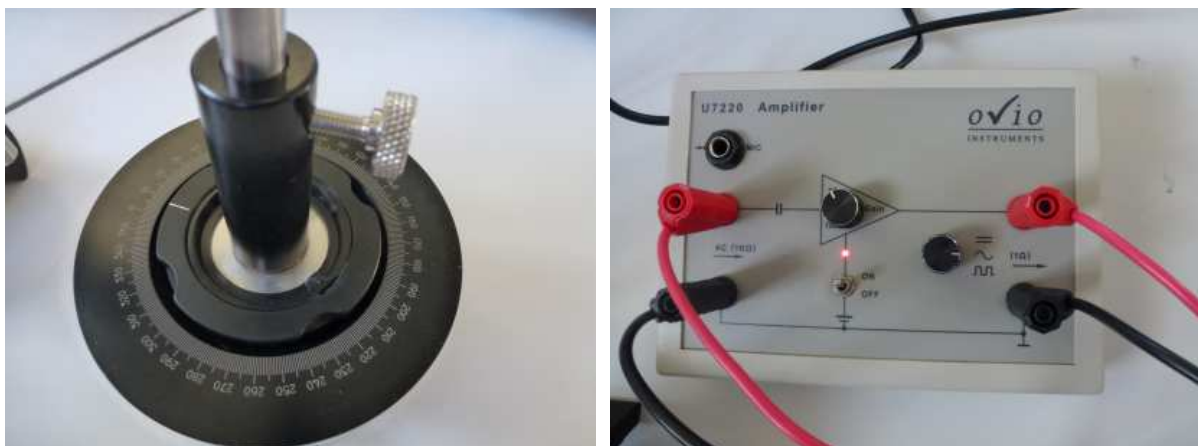


FIGURE 2 – Support goniométrique aimanté et amplificateur

### 3 Aspects théoriques

#### 3.1 Gain d'un filtre passe-bande

Le comportement du transducteur piézoélectrique est du type passe-bande d'ordre 2 possédant un facteur de qualité élevé.

1. Rappeler la forme canonique du gain  $\underline{H}(jf)$  d'un filtre passe-bande d'ordre 2 de fréquence centrale  $f_{cent}$  et de facteur de qualité  $Q$  en fonction de la fréquence  $f$  du signal d'entrée. Donner son module  $H(f)$ . Tracer

l'allure de ce module en fonction de  $f$ .

2. Rappeler la définition de la bande-passante. Montrer que le facteur de qualité  $Q$  du filtre est relié à la bande-passante  $\Delta f$  du filtre par :

$$\Delta f = \frac{f_{cent}}{Q}$$

3. Donner l'allure du diagramme de BODE du gain  $20 \log H(f)$  en fonction de  $\log f$ , toujours dans le cas d'un facteur de qualité élevé. On fera apparaître le tracé asymptotique et le tracé réel.

4. Rappeler, en justifiant, le domaine de fréquence où le filtre se comporte en intégrateur et celui où il se comporte en dérivateur.

5. Rappeler les principales caractéristiques (fréquences et amplitudes des diverses harmoniques) du spectre d'un signal crête de fréquence  $f_0$ .

6. Faire de même pour un signal triangulaire toujours de fréquence  $f_0$ .

7. Exprimer la relation qui doit exister entre la fréquence  $f_0$  d'un des deux signaux et la fréquence centrale du filtre  $f_{cent}$  pour que le filtre sélectionne une des harmoniques présente dans un des signaux.

## 3.2 Amplitude d'une onde

8. Rappeler la forme générale d'une onde plane monochromatique se propageant sur un axe.

9. Rappeler la forme générale d'une onde sphérique se propageant à partir du point source qui l'a émise. Comparer les formes onde sphérique et onde plane.

10. Que peut-on dire sur le plan énergétique de chacun de ses modèles d'ondes ?

## 3.3 Diffraction

La diffraction par une source d'ondes possédant la symétrie d'un disque concentre l'essentiel de l'onde dans un cône d'angle  $\theta_1$  tel que  $\sin \theta_1 = 1,22 \frac{\lambda}{D}$  où  $D$  est le diamètre de l'émetteur.  $\theta_1$  est l'angle par rapport à la normale au disque émetteur qui correspond au premier zéro de l'amplitude diffractée.

11. En prenant une fréquence  $f = 40,0 \text{ kHz}$ , calculer la longueur d'onde  $\lambda$  des ondes acoustiques ultrasonores générées par le transducteur piézoélectrique. En déduire la valeur numérique de l'angle  $\theta_1$  en degrés sachant que le diamètre du transducteur est  $D = 13,5 \text{ mm}$ .

# 4 Expériences

## 4.1 Consignes

Lors de vos activités expérimentales en TP, vous devrez systématiquement :

- \* Élaborer un protocole et m'appeler pour que je le valide.
- \* Mettre en œuvre ce protocole et m'appeler pour que j'évalue vos activités.
- \* Communiquer les résultats dans le compte rendu sous forme de descriptions, de tableaux de mesures, de graphiques...
- \* Valider les résultats en comparant les développements théoriques et les résultats expérimentaux en ayant le souci permanent de présenter de façon rigoureuse les résultats avec leur incertitude.
- \* Remettre en fin de séance votre compte-rendu.

Vous serez évalué sur l'ensemble de ces exigences.

## 4.2 Le transducteur en tant que filtre

**12.** Effectuer des mesures permettant de montrer le comportement passe-bande du système émetteur-récepteur. On privilégiera un tracé graphique en échelle linéaire de fréquence même si la recherche d'un modèle mathématique est possible. On pourra le réaliser sur papier millimétré ou sur ordinateur.

**13.** Déterminer le facteur de qualité du filtre. Le résultat sera exprimé avec son incertitude que l'on déterminera grâce à un programme *Python*.

**14.** En alimentant l'émetteur avec des signaux crêteaux ou triangulaires, réaliser la condition établie à la question 7.. Effectuer une démarche permettant de relier constatations expérimentales et connaissances théoriques sur les spectres des signaux considérés. On pourra réaliser des impressions des signaux visualisés sur l'oscilloscope pour conforter les observations. Conclure.

**15.** Alimenter l'émetteur avec un signal crêteau de fréquence 80 Hz et enregistrer les signaux comme on peut voir sur la figure 3. Un enregistrement permet la mesure de deux grandeurs physiques importantes pour le dispositif expérimental ? Quelles sont-elles ? Proposer une valeur numérique et son incertitude pour chacune d'elles et expliquer l'allure de la courbe fournie par le récepteur.

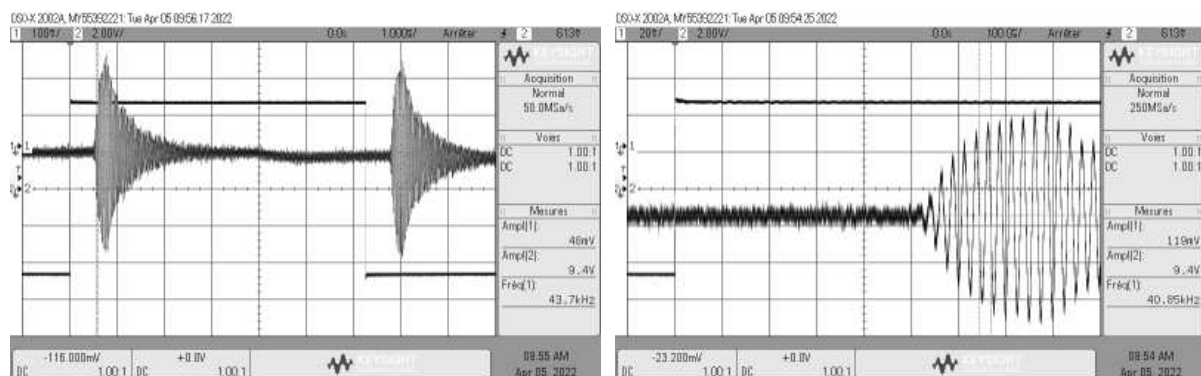


FIGURE 3 – Émetteur soumis à une tension crêteau de 80 Hz

## 4.3 Le transducteur en tant que source d'une onde ultrasonore

**16.** Étudier l'évolution de l'amplitude de l'onde ultrasonore en fonction de la distance qu'elle a parcourue depuis l'émetteur. On expliquera clairement les conditions de l'expérience choisie. Mettre en place un traitement des mesures qui propose une régression linéaire grâce à un programme *Python*.

Le diagramme de rayonnement sera celui de l'amplitude. Une fois réalisé, il permet au premier coup d'œil d'apprécier les directions privilégiées pour l'onde sonore. On effectue le tracé d'une amplitude mesurée en fonction de l'angle  $\theta$  entre la normale au plan de l'émetteur et la normale au plan du récepteur.

**17.** Après avoir réfléchi aux conditions expérimentales, enregistrer l'amplitude  $A_r$  reçue en fonction de l'angle  $\theta$ .

**18.** Tracer le diagramme de rayonnement en coordonnées polaires  $(A_r, \theta)$  sur un papier millimétré du type de celui présenté à la figure 4.

**19.** S'il vous reste du temps, vous pouvez prendre des initiatives pour confronter l'onde sonore à des situations que l'on rencontre classiquement avec les ondes (propagation, réflexion, réfraction, diffraction, interférences).

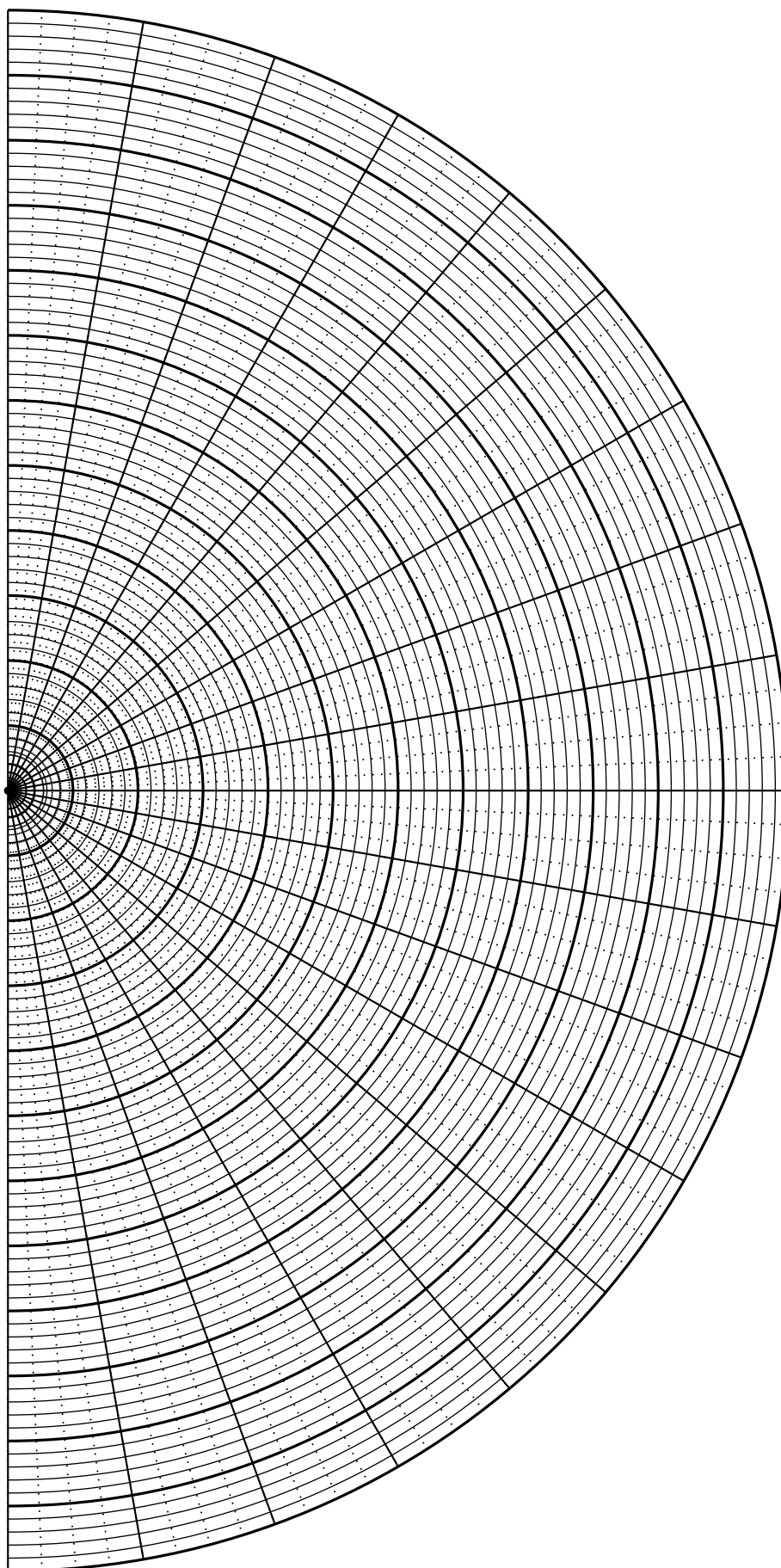


FIGURE 4 – Millimétré polaire - Diagramme de Rayonnement en amplitude

