



BLAISE PASCAL
PT 2023-2024

TP oral 1 – Ondes

Ondes ultrasonores

Matériel sur votre paillasse :

- ▷ Oscilloscope ;
- ▷ GBF ;
- ▷ Deux émetteurs à ultrasons ;
- ▷ Un récepteur à ultrasons ;
- ▷ Deux « tés » ;
- ▷ Boîtier d'alimentation des émetteurs ;
- ▷ Rail gradué ;
- ▷ Un thermomètre.

Ce TP a pour objectif de caractériser l'émission, la propagation et la réception des ondes ultrasonores. Au delà des questions physiques, il a également pour but de vous familiariser avec le format de l'épreuve de TP de la banque PT ! Ainsi, les questions sont formulées pour être fidèles aux retours d'anciens candidats (j'ai plus ou moins mixé deux TP en un), mais je les ai accompagnées de plusieurs commentaires pour vous guider sur ce qui me semble être la méthode attendue.

Le dispositif utilisé est prévu pour fonctionner à une fréquence de 40 kHz. L'émetteur d'ultrasons doit être alimenté par le GBF réglé à amplitude maximale, puis la fréquence ajustée de sorte à maximiser l'amplitude du signal émis.

L'émetteur à ultrasons fonctionne par résonance d'un quartz piezoélectrique : lorsqu'il est excité électriquement à sa fréquence propre, celui-ci se met à vibrer (et donc à émettre des ondes sonores) à la même fréquence. Cette valeur de 40 kHz se retrouve dans tous les dispositifs didactiques que je connais. Notez que certains sujets de la banque PT ne le rappellent pas, et que retenir cette valeur peut être une bonne idée.

I - Caractérisation de l'émetteur et du récepteur

1 - Placer l'émetteur et le récepteur face à face. Tracer la réponse fréquentielle du couple émetteur/récepteur.

Avant de vous lancer dans une longue série de mesure, commencez par une étude qualitative pour déterminer la gamme de fréquence pertinente pour l'étude. Ayez également en tête que pour une courbe raisonnablement précise cinq points « par domaine » sont nécessaires. Être trop économe en nombre de mesures peut souvent être contre-productif.

2 - Quel type de filtre est associé à cette réponse fréquentielle ? Déterminer sa fréquence de résonance et son facteur de qualité.

3 - Envoyer un signal triangulaire de fréquence 13,4 kHz dans l'émetteur et observer le signal reçu. Procéder à l'analyse fréquentielle des deux signaux. Interpréter. On donne la décomposition en série de Fourier d'un signal triangulaire d'amplitude A et de fréquence f :

$$s(t) = \frac{8A}{\pi^2} \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \cos(2\pi(2n+1)ft).$$

II - Propagation des ondes ultrasonores

4 - Déplacer le récepteur sur le rail et observer d'une part l'évolution de l'amplitude et d'autre part du déphasage entre le signal reçu et le signal émis en fonction de la distance entre l'émetteur et le récepteur. Interpréter.

5 - En s'appuyant sur l'observation précédente, proposer et mettre en œuvre un protocole de mesure de la vitesse du son. Estimer l'incertitude.

Il semble compliqué dans le contexte de l'épreuve orale d'envisager une estimation de l'incertitude en reproduisant la mesure un grand nombre de fois. On se limitera donc à une estimation plus qualitative : quelle grandeur avez-vous réellement mesuré ? à combien estimez-vous l'incertitude sur cette grandeur ? comment se répercute-t-elle sur le résultat final ?

Notez que la principale cause d'incertitude est bien souvent le **repérage par l'expérimentateur** d'une situation particulière, la précision de l'instrument de mesure est beaucoup plus rarement limitante. C'est clairement le cas ici !

Le report d'une incertitude sur le résultat d'un calcul est donné par les formules de propagation des incertitudes. Celles-ci se trouvent au paragraphe III.A de la fiche outil, et je vous les rappelle ci-dessous. **Les mémoriser et savoir les utiliser est incontournable pour l'épreuve de TP.**

Multiplication par une constante	$x = \lambda y \quad (\lambda \in \mathbb{R})$	$u(x) = \lambda u(y)$
Somme ou différence	$x = y + z \quad \underline{\text{ou}} \quad x = y - z$	$u(x) = \sqrt{u(y)^2 + u(z)^2}$
Produit ou quotient	$x = y \times z \quad \underline{\text{ou}} \quad x = \frac{y}{z}$	$\frac{u(x)}{x} = \sqrt{\left(\frac{u(y)}{y}\right)^2 + \left(\frac{u(z)}{z}\right)^2}$
Puissances et racines	$x = y^p \quad (p \in \mathbb{R})$	$\frac{u(x)}{x} = p \frac{u(y)}{y}$

Notez que, contrairement à ce que l'on pourrait croire, la dernière ligne y^p ne peut pas se déduire de l'avant-dernière $y \times z$. Pour que ces relations s'appliquent, les deux variables y et z doivent être indépendantes l'une de l'autre ... ce qui n'est évidemment pas le cas de y avec lui-même. Ce faisant, il y a une compensation partielle des incertitudes sur y et z : de manière très schématique, si une fluctuation rend y un peu plus grand, il se peut que z soit rendu un peu plus petit, ce qui donne une compensation dans le calcul de x . Un tel effet est bien sûr impossible dans le calcul de y^p .

6 - La vitesse du son dans l'air est reliée à la température par

$$c_{th} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \gamma = 1,4 \\ R = 8,3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ M = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \end{cases}$$

Comparer votre mesure à la valeur théorique, en prenant en compte l'incertitude sur la mesure de température.

Un z -score est ici tout indiqué ! Les deux grandeurs étant affectées d'une incertitude, il est défini par

$$Z = \frac{|c_{th} - c_{exp}|}{\sqrt{u(c_{th})^2 + u(c_{exp})^2}}$$

Cependant, pour aller plus vite, on peut se contenter de vérifier que les intervalles d'incertitude $[c_{th} - u(c_{th}), c_{th} + u(c_{th})]$ et $[c_{exp} - u(c_{exp}), c_{exp} + u(c_{exp})]$ se recouvrent.

7 - Les observations de la question 4 ont mis en évidence une diminution de l'amplitude lorsque la distance r entre l'émetteur et le récepteur augmente. Deux principales hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer cet effet :

- ▷ ou bien l'onde émise est une onde sphérique, dont l'amplitude décroît proportionnellement à $1/r$;
- ▷ ou bien l'onde émise est quasi-plane mais elle est absorbée, auquel cas son amplitude décroît proportionnellement à $e^{-r/a}$, avec a une longueur caractéristique du phénomène.

Tester la validité expérimentale de ces deux hypothèses.

Rappelez-vous que la validation expérimentale d'un modèle doit nécessairement passer par une représentation graphique qui s'identifie à une droite lorsque le modèle est valable. On cherche donc ici lequel des deux modèles donne « la meilleure droite », l'idéal pour cela étant de superposer les deux courbes sur la même figure, avec une abscisse commune ... mais évidemment deux échelles différentes en ordonnée.

III - Interférences

8 - Placer deux émetteurs côte à côte, puis observer l'évolution de l'amplitude en déplaçant le récepteur dans une direction **orthogonale** à l'axe des émetteurs. Interpréter.

9 - À quel dispositif optique simple le dispositif acoustique est-il équivalent ? En raisonnant par analogie, quelle devrait être la distance séparant deux maxima d'amplitude lors de la translation du récepteur ?

10 - Vérifier la validité expérimentale de cette relation.