Thème I. Ondes et signaux (ondes)

TP n°12 Célérité des ondes ultrasonores

Vendredi 22 décembre 2023

Compétences exigibles du programme :

- ✓ **Mesurer la vitesse de phase, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire**
- ✓ **Mesurer une longueur d'onde acoustique à l'aide d'un support gradué et d'un oscilloscope bicourbe.**
- ✓ Mesure d'une fréquence directement à l'oscilloscope.
- ✓ Décalage temporel/Déphasage à l'aide d'un oscillocope numérique : Reconnaître une avance et un retard. Repérer précisément le passage par un déphasage de 0 ou π en mode XY.
- ✓ Capacité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
- ✓ Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé.

Matériel :

- 1 émetteur ultrason et 2 récepteurs ultrasons ; leur alimentation continue +12V ;
- oscilloscope ;
- règle ; pâte à fixe ; scotch.

Objectifs du TP

- Mesurer la célérité du son dans l'air d'une onde ultrasonore de deux façons : par mesure de la longueur d'onde et de la période ; puis par mesure du temps de vol.
- Utiliser la mesure de la célérité du son dans l'air pour mesurer la température de l'air.
- Déterminer les incertitudes en utilisant la simulation Monte-Carlo, et l'étude statistique.

I Description des émetteur/récepteur

Les émetteurs d'ultrasons, alimentés par une alimentation continue dont il faut régler la valeur à 12 V peuvent émettre des ondes ultra-sonores dans deux modes :

- En **mode salve** : l'émetteur génère des **salves de durée très brève**.
- En **mode continu** : l'émetteur génère une **onde acoustique sinusoïdale** de fréquence f bien déterminée, caractéristique du matériau piézoélectrique qui constitue l'émetteur (et le récepteur).

Les émetteurs et récepteurs d'ultrasons sont constitués d'un cristal de quartz qui est un matériau piézoélectrique :

- si on applique une tension aux bornes du quartz, il subit alors une déformation mécanique (il se dilate ou se contracte). Cette déformation est proportionnelle à la tension appliquée. Cette propriété est à la base du fonctionnement d'un **émetteur d'ultrasons** car en lui appliquant une tension alternative à ses bornes, on induit une vibration du quartz et la couche d'air au contact du quartz est alors perturbée, il s'ensuit la propagation d'une onde de compression-dilatation dans les couches d'air successives c'est-à-dire l'apparition d'une onde acoustique.
- si le quartz subit une déformation alors une tension apparaît à ses bornes. Cette tension est proportionnelle à la déformation. Cette propriété est la base du fonctionnement d'un **récepteur d'ultrasons** car lorsqu'une onde acoustique perturbe la couche d'air au contact du quartz, celui-ci subit une déformation (compression-dilatation) et on observe alors une tension à ses bornes.

II Mesure de la célérité par mesure de la longueur d'onde

II.1 Mesure de la célérité

Premières observations

☞ L'émetteur est alimenté par une **tension continue +12 V** et fonctionne en **mode continu**.

☞ L'émetteur et les deux récepteurs sont disposés l'un à la suite de l'autre, selon un même axe. Les deux récepteurs sont tous deux reliés à l'oscilloscope numérique.

☞ Maintenir un récepteur fixe et déplacer le second.

☞ Refaire de même en utilisant le mode XY.

Q1. Noter précisément vos observations.

Q2. Justifier rapidement que la longueur de déplacement du 2e récepteur entre deux passages en phase est égale à la longueur d'onde λ du signal.

Q3. Quelle observation (temporelle ou XY) est à privilégier ?

Protocole

Q4. Rédiger un **protocole détaillé** permettant de mesurer la célérité du son dans l'air.

Expérience

☞ Après avoir fait valider le protocole par l'enseignant, réaliser l'expérience proposée.

Mesures

Q5. Noter vos mesures et en déduire la valeur de c.

II.2 Estimation de l'incertitude par Monte-Carlo

Pour estimer l'incertitude-type sur la valeur de c, il faut déterminer sa **variabilité**, qui est elle-même une conséquence de la **variabilité de λ et T**.

Évaluation des incertitudes expérimentales

Q6. Évaluer les intervalles $[x_{1min}, x_{1max}]$ et $[x_{2min}, x_{2max}]$ des positions du 2e récepteur, au sein desquels vous pouvez être raisonnablement certain que la position du récepteur lors du passage en phase se situe.

Q7. Évaluer l'intervalle $[T_{\text{min}}, T_{\text{max}}]$ dans lequel on est raisonnablement certain que le résultat de la mesure de la période se trouve.

Mise en œuvre de la simulation Monte-Carlo

💻 En utilisant le `Jupyter Notebook`, disponible dans la zone `partage` du serveur, nous allons mettre en œuvre la simulation Monte-Carlo pour déterminer le résultat sur la célérité :

☞ Renseigner les intervalles des deux positions du deuxième récepteur et de la période.

☞ Simuler N valeurs de x_1, x_2 et T.

☞ En déduire la collection des N valeurs de célérité et en tracer son histogramme.

☞ Calculer la valeur moyenne et l'écart-type de ces N valeurs de c.

Q8. Conclure avec le résultat de la mesure.

III Célérité du son dans l'air et température

III.1 Valeur de référence de la vitesse du son dans l'air

La célérité du son dans l'air est une grandeur tabulée depuis plus d'un siècle, c'est-à-dire que de nombreux expérimentateurs ont déjà réalisé dans le passe de nombreuses fois l'expérience de façon très précise, et la mise en commun de ces résultats a permis de dresser une table de valeurs de célérité en fonction de différents paramètres.

La valeur de référence du son dans l'air est donnée, pour θ, la température en degré Celsius, par

$$c_{\text{ref}} = 331,5\sqrt{\frac{\theta + 273,15}{273,15}}$$

III.2 Mesure de la température par mesure de la vitesse du son

Détermination de la température de l'air

Q9. Que pensez-vous de la mesure de la qualité de la célérité du son effectuée précédemment ?

Q10. Comment en déduire la température de l'air à l'endroit et au moment de la mesure ?

☞ Mettre en œuvre votre proposition.

Q11. Conclure sur le résultat de la mesure de la température.

Comparaison des deux mesures

☞ Mesurer la température au thermomètre électronique.

Q12. Évaluer l'incertitude-type sur cette mesure de température à l'aide de la notice constructeur.

Q13. Déterminer l'écart normalisé entre les deux mesures de la célérité de température. Conclure.

IV Mesure de la célérité par mesure du temps de vol

Protocole

Q14. Proposer un autre protocole permettant de mesure la célérité des ondes sonores en utilisant le mode salve de l'émetteur, et en mesurant un temps de vol.

Expérience

☞ Après avoir fait valider le protocole par l'enseignant, réaliser l'expérience proposée.

☞ Réaliser la mesure plusieurs fois (au moins une dizaine).

Mesures et incertitudes

Q15. Noter vos mesures.

Q16. Mener l'évaluation de type A de cette série de mesures.

Q17. En déduire le résultat de la mesure.

Q18. Évaluer l'écart normalisé entre les deux mesures de la célérité de l'onde acoustique. Conclure.

Bonnes vacances

Bonnes fêtes de fin d'année