



Thème I. Ondes et signaux (ondes)

TP n°17 Célérité des ondes ultrasonores

Vendredi 21 mars 2025

📌 La totalité de l'énoncé doit être lue avant la séance de TP, et les questions précédées d'une étoile * doivent être faites.

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 oscilloscope 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 avec une onde sinusoïdale

Utilisation des émetteurs

- ☞ L'émetteur est alimenté par une **tension continue +12 V** et fonctionne en **mode continu**, il émet alors une onde ultrasonore sinusoïdale.

II.1 Propagation et déphasage

Au niveau d'un récepteur situé à une abscisse x_0 donnée, l'onde ultrasonore reçue s'écrit :

$$p(x_0, t) = p_0 \cos(2\pi ft + \varphi(x_0))$$

où

- $\varphi(x_0) = -\frac{2\pi f}{c}x_0 = -\frac{2\pi}{\lambda}x_0$ est la phase à l'origine des temps qui dépend de la position du récepteur ;
- f la fréquence, λ la longueur d'onde, c la célérité de l'onde ultrasonore, avec $c = \lambda f = \frac{\lambda}{T}$.

Le récepteur convertit l'onde ultrasonore reçue en une tension électrique observée à l'oscilloscope qui s'exprime selon

$$u(t) = U_m \cos(2\pi ft + \varphi(x_0))$$

Questions préliminaires

- On place deux récepteurs, sur le même axe (Ox), respectivement aux abscisses x_1 et x_2 .
- Q1. * Exprimer les tensions u_1 et u_2 observées à l'oscilloscope aux bornes des deux récepteurs.
 - Q2. * Exprimer le déphasage entre u_1 et u_2 en fonction de λ , x_1 et x_2 .
 - Q3. * À quelle condition liant x_1 , x_2 et λ les tensions u_1 et u_2 sont-elles en phase ? en opposition de phase ?
On pourra introduire des entiers pour traduire ces conditions.
 - Q4. * Comment repérer précisément des tensions en phase ?

II.2 Mesure de la célérité

Protocole

-  Celui-ci sera évalué.
- Q5. * Rédiger un **protocole détaillé** permettant de mesurer la célérité du son dans l'air.

Expérience

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

Mesures

- Q6. Noter vos observations.
- Q7. Noter vos mesures et en déduire la valeur de c .

II.3 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** .

Principe de la simulation Monte-Carlo

Q8. *  Cette question sera évaluée.

Rappeler le principe de la simulation Monte-Carlo et de son utilisation pour évaluer les incertitudes expérimentales sur une mesure unique. *Je n'attends pas de ligne de code, ni de python, je veux des phrases en français qui explique ce que c'est, ce qu'il faut faire, et ce qu'on en fait.*

Évaluation des incertitudes expérimentales

➡ Évaluer les intervalles des positions du 2^e récepteur et de la période, au sein desquels vous pouvez être raisonnablement certain.e que la position du récepteur lors du passage en phase se situe.

Mise en œuvre de la simulation Monte-Carlo

➡  Mettre en œuvre informatiquement la méthode de Monte-Carlo pour déterminer un très très grand nombre de valeurs de célérité et en tracer son histogramme.

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

Q9. Conclure avec le résultat de la mesure, **écrit dans les règles de l'art**.

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 passé 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 de la célérité du son dans l'air est donnée pour la température θ en °C, 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

Q10. Que pensez-vous de la mesure de la qualité de la célérité du son effectuée précédemment ?

Q11. Comment en déduire la température de l'air à l'endroit et au moment de la mesure ?

Q12. Conclure sur le résultat de la mesure de la température (avec une incertitude!).

III.3 Conclusion

Expérience

➡ Mesurer la température au thermomètre électronique.

Comparaison des deux mesures

Q13. Évaluer l'incertitude-type sur cette mesure de température à l'aide de la notice constructeur.

Q14. Déterminer l'écart normalisé entre les deux mesures de la célérité de température. Conclure.