



BUT : Déterminer expérimentalement la vitesse de propagation (ou célérité) d'ondes mécaniques sonores ou ultrasonores. Evaluer l'erreur absolue et relative de la mesure. Interpréter le résultat obtenu.

COMPETENCES :

Extraire des informations utiles d'une observation, d'un texte ou d'une représentation conventionnelle (APP) – Réaliser le dispositif expérimental correspondant au protocole, réaliser une série de mesures et relever les résultats (REA) – Extraire des informations des données expérimentales et les exploiter, estimer l'incertitude d'une mesure, confronter un modèle à des résultats expérimentaux (VAL).

1. Petite histoire de la mesure de la vitesse du son

sources : fr.wikipedia.org – <http://vieux-marcoussis.pagesperso-orange.fr> - www.chimix.com

Les premières expériences visant à mesurer la vitesse du son furent l'œuvre de Marin Mersenne durant la Renaissance. Marin Mersenne, cité par Pierre Gassendi, trouva une vitesse de 230 toises (soit 448 m) par seconde. Pierre Gassendi montra que les sons graves et aigus se propagent à la même vitesse.

Depuis le développement de l'artillerie, l'art militaire avait montré que le son émis par un canon arrivait longtemps après avoir observé la lumière émise par l'explosion de la poudre. Malgré les nombreux travaux antérieurs, la connaissance de la vitesse du son restait imprécise au XVIII^e siècle.

L'Académie des sciences française chargea en 1738 Cassini de Thury, Maraldi et l'Abbé de la Caille d'organiser des nouvelles expériences.

Dans son rapport « *Sur la propagation du son* » publié par l'Académie des Sciences en 1738, César-François Cassini de Thury écrit : « *Quoiqu'on ait toujours remarqué que le Son employait plus ou moins de temps à se transmettre à nous suivant que nous sommes plus ou moins éloignés du lieu où il est produit, cependant il ne paroît pas que l'on ait encore déterminé avec toute la précision l'espace qu'il parcourt dans un temps donné...* ». Avec Maraldi, l'abbé de La Caille, ils décidèrent de faire cette mesure avec exactitude « *nous choisîmes pour cet effet l'Observatoire, Montmartre, la Tour de Montlhéry, Dammartin, et divers autres lieux dont les distances étoient connues exactement par les observations qui y ont été faites ci-devant pour déterminer la Méridienne et le Parallèle de Paris* ».

Toutes les expériences furent faites la nuit pour mieux apercevoir les lumières des canons. Les principaux résultats furent :

- le son parcourt 173 toises (soit 337,2 m) en une seconde ;
- [...]
- la vitesse du son est uniforme, [...]
- l'intensité [...] du son ne change rien à sa vitesse.



Enfin, dans le même ouvrage, l'Abbé Nollet démontre que « le son décroît comme le carré de la distance qui augmente ».

En 1822, François Arago et Gaspard de Prony réalisent de nouvelles expériences plus rigoureuses, sur ordre du Bureau des longitudes. Cette fois-ci ils décident d'utiliser des tirs croisés.

Monsieur l'abbé Pinault relate cette expérience : « Les deux stations que l'on avait choisies étaient Villejuif et Montlhéry. À Villejuif, le capitaine Boscary fit déposer, sur un point élevé, une pièce de six¹, avec des gargousses² de deux et trois livres de poudre ». Les coups de canons seront tirés en même temps, de cette manière, les expérimentateurs espèrent limiter les perturbations dues au taux d'hygrométrie, de vitesse du vent, de pression et de température. De plus, des chronomètres plus précis sont utilisés. Les expériences ont lieu dans les nuits du 21 et 22 juin 1822. Les résultats donnent la valeur de 340,88 m.s⁻¹ à une température de 15,9 °C. Après correction, la vitesse à 0 °C est de 330,9 m.s⁻¹.

¹pièce de canon ; ²charge de poudre contenue dans une enveloppe de tissu ou de papier au diamètre de la chambre du canon.

Le développement de la mécanique des fluides a permis d'élaborer un modèle pour la propagation des ondes mécaniques dans les gaz. L'expression théorique de la célérité de ces ondes qui découle de ce modèle est :

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

avec le coefficient $\gamma = 1,4$ pour l'air, la constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$, la température T en Kelvin ($T \text{ (K)} = \theta \text{ (}^\circ\text{C)} + 273,15$), la masse molaire de l'air M en kg.mol^{-1} .

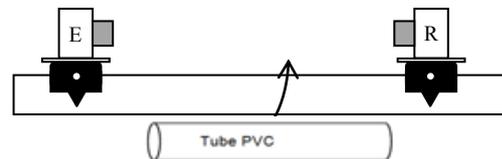
✎ Répondre aux questions du paragraphe 1. de la feuille bilan.

2. Mesures de la célérité du son dans l'air à l'aide d'ondes ultrasonores

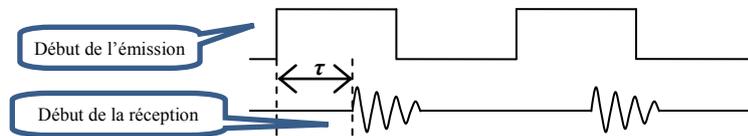
2.1. Emission par salves

On dispose d'un émetteur et d'un récepteur ultrasonore et de tubes en PVC de différentes longueurs, pouvant être placés entre les 2 appareils.

- ✂ Positionner l'émetteur (E) et le récepteur (R) sur le support puis adapter délicatement le tube en PVC le plus court.
- ✂ Relier l'émetteur au GBF puis le GBF à l'interface d'acquisition SYSAM-SP5 entre l'entrée EA0 et la masse.
- ✂ Relier le récepteur à l'interface d'acquisition SYSAM-SP5 entre l'entrée EA1 et la masse.



Lorsqu'on alimente l'émetteur (E) avec une tension carrée, la brusque variation de tension à ses bornes provoque l'émission d'une salve d'ultrasons qui se propage dans l'air vers le récepteur R avec une célérité que l'on cherche à déterminer. Quand le signal ultrasonore atteint le récepteur R, il y provoque des oscillations amorties qui donnent naissance à une tension variable que l'on étudie.



- ✂ Mettre le GBF sous tension et le régler pour qu'il produise une tension carrée (fonction **L**) de fréquence voisine de 40 Hz (gamme $\times 100$). Consulter l'annexe pour les réglages.

🖥 Ouvrir le logiciel *LatisPro*®.

Vérifier que la fonction  est sélectionnée (voir utilisation *LatisPro*).

Dans la zone **Entrées Analogiques**, sélectionner les entrées EA0, et EA1.

En cliquant bouton droit sur EA1, sélectionner $-1V/1V$. Dans la zone **Acquisition**, sélectionner *temporelle*, avec 1000 points et une durée totale de 40 ms (laisser décoché le *Mode permanent*).

Dans la zone **Déclenchement** vérifier que la source soit EA0 et *Montant*. Lancer une acquisition (touche F10).

En double cliquant sur les ordonnées, changer d'échelle : choisir *Min* : $-0,1$ et *Max* : $0,1$.

En utilisant l'outil *Loupe* (choisir après clic-droit), sélectionner une zone du graphique où la "réponse" du récepteur est visible (voir ANNEXE).

Une fois cette zone zoomée, en utilisant l'outil *Réticule*, déterminer la durée entre le "signal émetteur" et le "signal récepteur" (voir ANNEXE).

- ✂ Mesurer le retard τ obtenu pour les différentes distances en utilisant les tubes en PVC fournis.

🖥 Noter les mesures dans une **feuille de calcul** (tableur), tracer le graphe $d = f(\tau)$ (nuage de points )

🔗 Répondre aux questions du **paragraphe 2.1.** de la feuille bilan.

2.2. Emission par ondes progressives périodiques

- ✂ Repositionner E et R à quelques centimètres l'un de l'autre sans utiliser de tubes en PVC.

Le GBF sera réglé pour délivrer un signal sinusoïdal de fréquence voisine de 40 kHz ce qui permet de travailler sans être gêné par les bruits ambiants :

- ✂ Mettre le GBF sous tension et le régler pour qu'il produise une tension sinusoïdale (fonction **W**) de fréquence voisine de 40 kHz (gamme $\times 100k$). Eteindre alors le GBF

🖥 Dans la zone **Entrées Analogiques**, sélectionner l'entrée EA0 seule (désactiver EA1).

Dans la zone **Acquisition**, sélectionner *temporelle*, avec 1000 points et une durée totale de $100 \mu s$ puis *Mode permanent*. Dans la zone **Déclenchement** vérifier que la source soit EA0 et *Montant*.

- ✂ Allumer à nouveau le GBF puis lancer une acquisition (touche F10)
- ✂ A l'aide du bouton **AMPLI** du GBF, ajuster la tension délivrée pour que l'amplitude soit entre 8 V à 9 V.

🖥 Lorsque ce réglage est effectué, stopper l'acquisition (touche Echap).

Dans la zone **Entrées Analogiques**, sélectionner à nouveau l'entrée EA1. Lancer une nouvelle acquisition (F10) et affiner la fréquence délivrée de telle façon que le signal correspondant au récepteur (EA1) ait l'amplitude la plus grande possible. Lorsque ce réglage est effectué, stopper l'acquisition (touche Echap) et **ne plus toucher aux réglages du GBF** et noter la valeur de fréquence affichée par le GBF.

- ✂ Déplacer R doucement de manière à ce que les deux sinusoïdes soient dans le même état vibratoire (en phase). Pour chaque déplacement du récepteur R permettant de retrouver les deux sinusoïdes en phase, la distance correspond à une longueur d'onde λ .

🔗 **Noter x_1** la position de R et estimer en mm l'incertitude notée $u(x)$ sur la mesure en déplaçant le récepteur R de part et d'autre de x_1 .

- ✂ Continuer le déplacement pour mesurer une distance correspondant à 10 longueurs d'onde. **Noter x_2** , la nouvelle position de R.

🔗 Répondre aux questions du **paragraphe 2.2.** de la feuille bilan.