

Son et température

par J. THEUREL
Lycée Cassin - 71000 Mâcon

La détermination de la vitesse du son dans l'air à la température ambiante figure au programme de la classe de seconde.

Il est pédagogiquement souhaitable d'en faire d'abord une mesure directe à l'aide d'un son audible, l'ordinateur permettant d'obtenir un résultat très satisfaisant.

La détermination indirecte de cette vitesse à l'aide d'une onde ultrasonore présente aussi un intérêt car elle utilise la notion de longueur d'onde que la plupart de nos élèves assimilent difficilement. On peut alors mettre à profit cette occasion pour étudier l'influence de la température cependant la méthode habituelle qui consiste à éloigner le récepteur d'un nombre entier de λ afin de calculer $V = \lambda \times N$ n'est pas suffisamment précise pour permettre de déceler une variation de vitesse de l'ordre de 5 % entre 30 et 60°C.

Merci à Monsieur BESSON, agent attaché au laboratoire qui, bien que très occupé, trouve encore le temps de réaliser de nouveaux matériels.

* * *

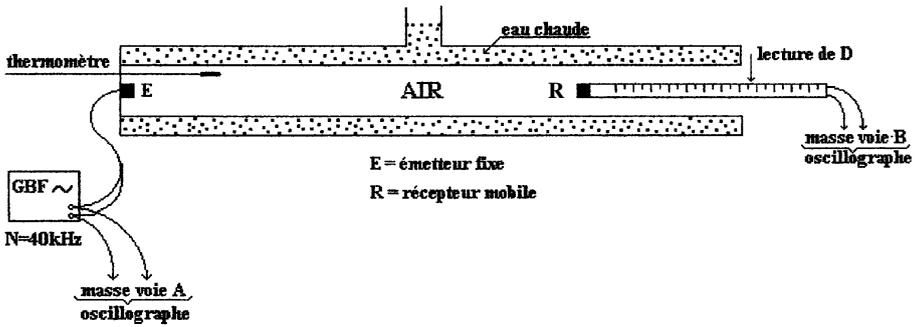
PROBLÉMATIQUE

- La vitesse du son dans l'air varie-t-elle avec la température ?
- Comment peut-on déterminer cette vitesse à différentes températures ?

PRINCIPE

Une onde ultrasonore est émise dans l'air puis captée par un récepteur placé à une distance D de l'émetteur. La méthode consiste à exploiter la variation du déphasage qui apparaît entre l'onde émise et l'onde captée lorsque la température de l'air varie.

SCHÉMA DU DISPOSITIF



TRAVAIL DEMANDÉ

a - Activité expérimentale

- Le dispositif étant vide d'eau donc à la température ambiante θ_i , déplacer le récepteur R de manière que les deux sinusoïdes observées soient en phase. Mesurer la distance $D_i = \text{ cm}$ séparant l'émetteur du récepteur ainsi que $\theta_i = \text{ }^\circ\text{C}$.
- Remplir *lentement* le dispositif avec de l'eau chaude tout en maintenant *les deux sinusoïdes en phase* en déplaçant le récepteur R.
- Attendre que la température θ commence à diminuer pour commencer les mesures simultanées de θ et de la distance D entre émetteur et récepteur. Noter les résultats de mesure dans le tableau.

b - Interprétation

- *Quelle est l'origine du déphasage qui apparaît quand on remplit le dispositif d'eau chaude ?*
 - à θ_i : la vibration captée par R est en phase avec celle émise par E donc $D_i = n \times \lambda_i$ (1).
 - à θ : si on ne déplaçait pas R, les deux vibrations ne seraient plus en phase donc $D_i \neq n \times \lambda$ (2).

En comparant (1) et (2) on en déduit que $n \times \lambda \neq n \times \lambda_i \Leftrightarrow \lambda \neq \lambda_i$ or $\lambda = V \times T$ et $\lambda_i = V_i \times T$ (T ne variant pas avec la température) donc $V \times T \neq V_i \times T \Leftrightarrow V \neq V_i$: la vitesse du son dans l'air varie avec la température.

• Calculer la vitesse V du son dans l'air à différentes températures θ : quand on déplace le récepteur R pour que les deux sinusôides soient en phase :

– à θ_i : $D_i = n \times \lambda_i \Leftrightarrow n = D_i / \lambda_i$,

– à θ : $D = n \times \lambda \Leftrightarrow n = D / \lambda$,

donc $D / \lambda = D_i / \lambda_i$ mais $\lambda = V \times T$ et $\lambda_i = V_i \times T$

par suite $D / V \times T = D_i / V_i \times T \Leftrightarrow D / V = D_i / V_i$

$$V = V_i \times D / D_i$$

$V_i =$	ms^{-1}	D (cm)	
		θ (°C)	
		$V = V_i \times D / D_i$ (ms^{-1})	

c - Exploitation des résultats

Construire la courbe de V en fonction de θ .

Annexe

1 - Les ultrasons ont été utilisés pour leur «confort acoustique» mais également pour limiter l'influence des parois qui diminue quand la fréquence augmente.

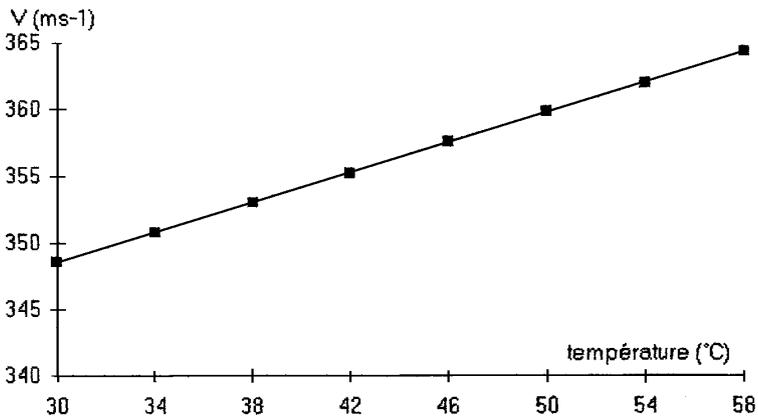
2 - La décroissance de la température est suffisamment lente pour permettre les mesures simultanées de θ et D .

3 - Des mesures ont montré que la température est bien homogène dans le tube d'air.

4 - La concordance de phase peut être vérifiée plus précisément en utilisant l'oscillographe en mode XY mais ce n'est pas au programme de seconde.

5 - Les élèves connaissent V_i déterminé lors d'un T.P. précédent.

6 - La courbe expérimentale obtenue est la suivante :



Remarque : Elle est pratiquement confondue avec la courbe théorique d'équation $V = \frac{V_0}{\sqrt{T_0}} \sqrt{T} = 20,0 \sqrt{\theta + 273}$.

7 - Liste des matériels :

- Matériels en PVC de la marque NICOLL pour réaliser le réservoir d'eau (en vente dans les magasins de bricolage) :
 - un tube de longueur environ 80 cm et de diamètre extérieur 50 mm,
 - un autre tube de même longueur que le précédent mais de diamètre extérieur 32 mm,
 - un embranchement à 87°30 femelle-femelle 50/40 (référence BJ 288),
 - deux réductions incorporées mâle-femelle (mâle de Ø 50 mm, femelle de Ø 32 mm) pour fermer les extrémités du réservoir (référence IJF),
 - deux colliers de diamètre 50 mm.
- Un tube de colle pour PVC.
- Un tube d'aluminium de section carrée (dimensions extérieures 20 mm × 20 mm), de longueur 45 cm (disponible chez les aluminiers).
- Matériels de marque ÉLECTROME :
 - un émetteur US de référence 01891,
 - un récepteur US de référence 01890 (emboîté-collé à l'extrémité du tube d'aluminium).
- Deux supports découpés dans une plaque d'altuglas d'épaisseur 15 mm (sur lesquels on fait coulisser le tube d'aluminium).
- Un disque d'altuglas de diamètre 30 mm et d'épaisseur 10 mm collé à une extrémité du tube de PVC de diamètre 32 mm. Il est percé de deux trous, l'un dans lequel est emboîté l'émetteur, l'autre pour permettre le passage du thermomètre.
- Une graduation au millimètre (photocopie sur calque d'un mètre ruban) collée sur la face supérieure du tube d'aluminium.
- Une plaque d'altuglas transparent de dimensions 15 cm × 5 cm qui, vissée sur les deux supports porte le repère permettant la lecture de D.

- Une planchette de dimensions $100\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ sur laquelle est fixé l'ensemble du dispositif.

8 - L'étalonnage préalable de la graduation facilite grandement les mesures.

9 - Pour $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ et $D_i = 65\text{ cm}$ on obtient :

$$D_{60} - D_{30} = D_i (V_{60} - V_{30}) / V_i = 3,2\text{ cm}$$

on peut réduire la longueur du réservoir d'eau mais la précision des résultats sera moindre.

10 - Dessin du dispositif :

