



# TP S3 – COMPTE-RENDU

D.Malka – MPSI 2018-2019 – Lycée Jeanne d'Albret

02.10.2018

## Mesure de la célérité du son par temps de vol

### 1 But de l'expérience

Nous cherchons à mesurer la célérité du son  $c_s$  dans l'air (dans les conditions de température, de pression, d'humidité de l'expérience) par la méthode du temps de vol.

### 2 Protocole expérimental

Le dispositif expérimental est représenté fig.1.

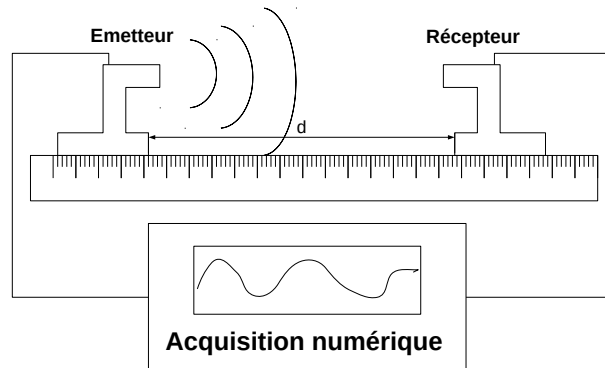


FIGURE 1 – Dispositif expérimental

Un émetteur d'ondes ultra-sonore émet périodiquement des impulsions ultrasonores courtes (excitation d'une durée de 0.2ms). Un récepteur situé à une distance  $d$  de l'émetteur permet de mesurer le retard à la propagation  $\tau$  (voir fig.2). On en déduit la célérité  $c_s$  du son par la relation :

$$c_s = \frac{d}{\tau}$$

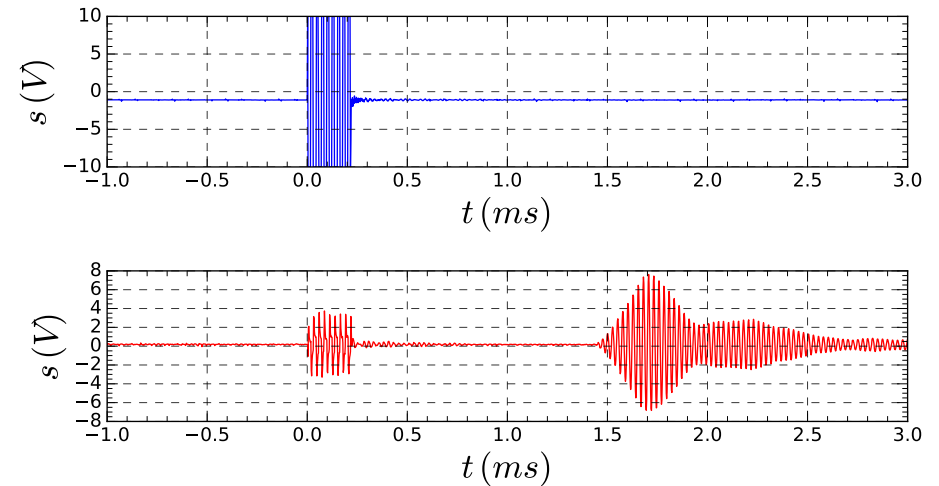


FIGURE 2 – Mesure du retard  $\tau$  à la propagation entre l'émetteur et le récepteur. Sur cet exemple, la distance entre le capteur et le récepteur vaut  $d = x_R - x_E = 71.0 - 22.1\text{mm} = 47.9\text{mm}$  et le retard à la propagation vaut  $\tau = 1.45\ \mu\text{s}$ .

$d(m)$	$\tau(\mu s)$	$C_s$
0,14	392	357,1
0,16	464	344,8
0,18	536	335,8
0,20	584	342,5
0,22	632	348,1
0,24	704	340,9
0,26	760	342,1
0,28	824	339,8
0,30	872	344,0
0,32	944	339,0
0,32	944	339,0

FIGURE 3 – Mesures

La distance  $d$  est mesurée sur un banc d’optique gradué mm.

Nous répétons dix fois la mesure pour différentes valeurs de  $d$ . L’incertitude est estimée par la méthode de type A (incertitude statistique).

### 3 Résultats expérimentaux

Les mesures sont consignées dans le tableau fig.3.

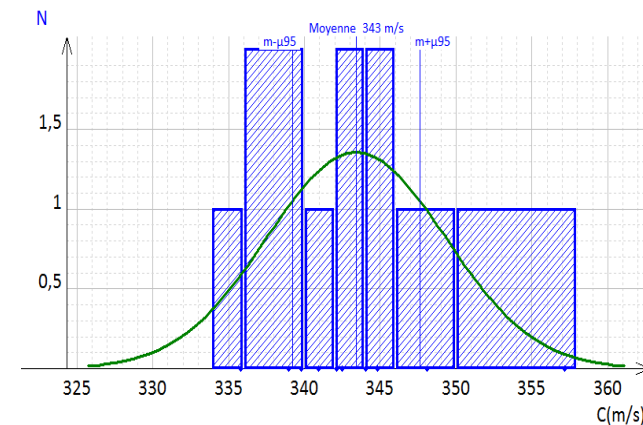
### 4 Célérité du son dans l’air

La moyenne des mesures est la meilleure estimation de  $c_s$ . Avec un intervalle de confiance à 95% (fig.4) :

$$c_s = 343 \pm 4 \text{ m.s}^{-1}$$

### 5 Discussion des modèles de Newton et de Laplace

— Le modèle de Newton prédit une célérité du son s’écrivant :

FIGURE 4 – Distribution statistique des mesures de  $c_s$ 

$$c_s = \sqrt{\frac{RT}{M}} \quad (2)$$

avec  $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ,  $M = 29.0 \text{ g mol}^{-1}$  et  $T = 295.0 \pm 0.6 \text{ K}$  :

$$c_s = 290.8 \pm 0,6 \text{ m.s}^{-1}$$

Cette valeur n’est pas cohérente avec celle mesurée expérimentalement. L’expérience invalide le modèle de Newton.

— Le modèle de Laplace prédit une célérité du son s’écrivant :

$$c_s = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (2)$$

avec  $\gamma = 1.4$ ,  $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ,  $M = 29.0 \text{ g mol}^{-1}$  et  $T = 295.0 \pm 0.6 \text{ K}$  :

$$c_s = 344,1 \pm 0,6 \text{ m.s}^{-1}$$

Cette valeur est cohérente avec celle mesurée expérimentalement. L’expérience valide le modèle de Laplace.

## Annexe - Détails du calcul des incertitudes

- Incertitude sur  $C_s$  (via les mesures de temps de vol). Elle est évaluée par traitement statistique des mesures (incertitude-type de type A).
- Incertitude sur la température. L'erreur de justesse du thermomètre utilisé est de  $1\text{ K}$ . L'erreur de résolution est de  $0,1\text{ K}$ . Nous retenons  $\sigma_T = \frac{1,1}{\sqrt{3}} \approx 0,6$ .
- Incertitude sur la célérité du son. La différenciation de la relation (2) donne, en négligeant les incertitudes sur  $\gamma$ ,  $M$  et  $R$  :

$$\sigma_{C_s} = \sqrt{\frac{\gamma R}{MT}} \sigma_T \approx 0,7\text{ m.s}^{-1}$$