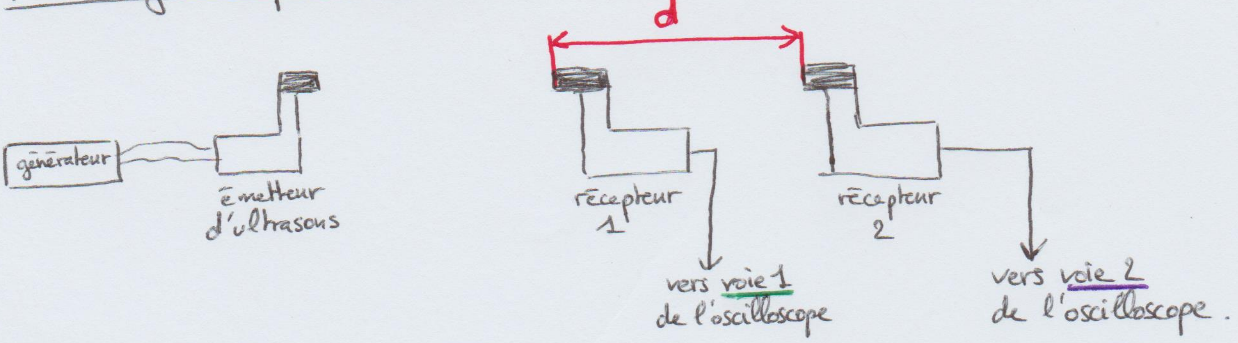
TP1 : Détermination de la vitesse de propagation du son

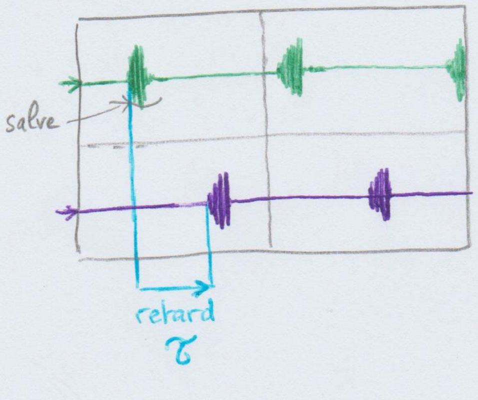
1. Problématique

Le son se propage dans l'air à une vitesse constante. Dans l'histoire, plusieurs physiciens ont proposé des expressions théoriques permettant de prédire cette célérité, notamment en fonction de la température. Nous allons déterminer expérimentalement la célérité du son en salle de TP afin de valider ou non les relations proposées par Newton et par Laplace. Nous travaillerons avec des ultrasons qui ont des propriétés similaires aux ondes sonores audibles.

2. Montage expérimental :



Allure de l'oscillogramme avec émetteur réglé sur salves courtes :



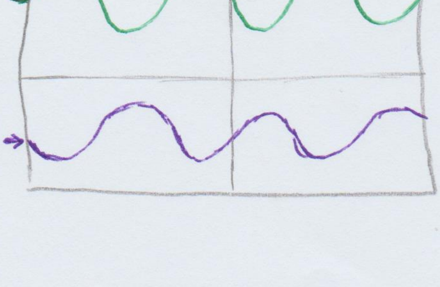
Le retard mesurable sur l'oscilloscope est directement relié à la distance entre les récepteurs

$$d = v_{onde} \times \tau$$

↑ célérité de l'onde sonore.

⚠ échelle de temps différente !

Allure de l'oscillogramme avec émetteur réglé sur continu :



Le déphasage entre les 2 ondes varie en fonction de l'écart entre les 2 récepteurs.

Protocoles :

Méthode 1 :

- Réaliser le montage précédent.
- Régler l'émetteur sur salves courtes.
- Placer les deux récepteurs à une distance $d = 50$ cm l'un de l'autre, face à l'émetteur.
- Relever la distance réelle d.
- Mesurer le retard τ entre les 2 ondes sur l'oscilloscope.
- Déterminer la célérité en faisant $\boxed{v_{onde} = \frac{d}{\tau}}$.

Méthode 2 :

- Réaliser le montage précédent.
- Régler l'émetteur sur salves courtes.
- Pour cinq valeurs différentes de d comprises entre 20 cm et 60 cm, mesurer le retard τ associé sur l'oscilloscope.
- Tracer à l'aide du logiciel Regressi le graphique $d = f(\tau)$.
- Modéliser les points de mesure par une fonction linéaire $d = a \times \tau$.
- Relever la valeur du coefficient a, il correspond à la valeur de la célérité de l'onde sonore.

Méthode 3 :

- Réaliser le montage précédent.
- Régler l'émetteur sur "continu".
- Placer les 2 récepteurs côte-à-côte de sorte à ce que les 2 signaux mesurés soient <u>en phase</u>.
- Repérer la position du récepteur 2 puis reculer celui-ci jusqu'à ce que les signaux reviennent en phase. Recommencer à reculer le récepteur 2 jusqu'à ce que les signaux retombent 9 fois <u>supplémentaires</u> en phase.
- La distance Δx parcourue par le récepteur 2 vaut alors 10 fois la longueur d'onde.
  - ↳ La longueur d'onde s'obtient en divisant la longueur Δx par 10 → $\boxed{\lambda = \frac{\Delta x}{10}}$
- Déterminer sur l'oscilloscope la période du signal T (durée d'un motif élémentaire).
- La célérité se calcule avec la relation de double périodicité :

$$\boxed{v_{onde} = \frac{\lambda}{T}}$$

3. Mesures

Méthode 1 :
$$\begin{cases} d = 50{,}3 \pm 0{,}2 \text{ cm} \\ \tau = 1{,}45 \pm 0{,}05 \text{ ms.} \end{cases}$$

Estimation des incertitudes : pour d : limitation de la graduation du mètre + récepteur non fixé (possibilité de bougé un peu).

pour τ : précision de lecture à 0,2 div avec une échelle à 250 µs/div.

Méthode 2 :

τ (en µs)	550	850	1150	1400	1750
Δx (en cm)	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0

Méthode 3 :
$$\begin{cases} \Delta x = 8{,}6 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm} \\ T = 25{,}0\ \mu s \pm 1\ \mu s \end{cases}$$

1 mm → • utilisation d'une règle graduée • repérage des positions réalisé avec soin.

1 µs → précision de lecture à 0,2 div avec une échelle à 5 µs/div.

4. Analyses et résultats :

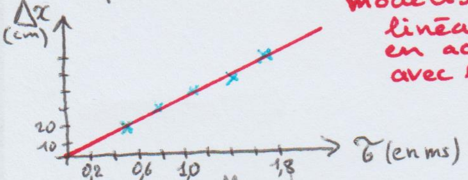
Méthode 1 :
$$v_{1\,onde} = \frac{d}{\tau} = \frac{50{,}3 \times 10^{-2}}{1{,}45 \times 10^{-3}} = 347 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\Delta v_{1\,onde} = v_{1\,onde} \times \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \tau}{\tau}\right)^2} = 347 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}2}{50{,}3}\right)^2 + \left(\frac{0{,}05}{1{,}45}\right)^2} = 12 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\boxed{v_{1\,onde} = 347 \text{ m.s}^{-1} \pm 12 \text{ m.s}^{-1}}$$

Méthode 2 :

Graphe obtenu :



(imprimer éventuellement la courbe et la coller).

modélisation linéaire en accord avec les points : $\Delta x = a . \tau$ avec $a = 349 \pm 9$ m.s^{-1}

↳ or $a = v_{2\,onde}$

donc
$$\boxed{v_{2\,onde} = 349 \pm 9 \text{ m.s}^{-1}}$$

Méthode 3 :
$$\lambda = \frac{\Delta x}{10} = 0{,}86 \text{ cm} \pm 0{,}1 \text{ mm}$$

⚠ l'incertitude est divisée par 10 également

$$v_{3\,onde} = \frac{\lambda}{T} = \frac{8{,}6 \times 10^{-3}}{25{,}0 \times 10^{-6}} = 344 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\Delta v_{3\,onde} = v_{3\,onde} \times \sqrt{\left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2} = 344 \sqrt{\left(\frac{0{,}1}{8{,}6}\right)^2 + \left(\frac{1}{25}\right)^2} = 14 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\boxed{v_{3\,onde} = 344 \pm 14 \text{ m.s}^{-1}}$$

Comparaison des méthodes :

- Sont-elles en accord ? Oui car les intervalles de confiance des 3 méthodes ont une partie commune.

- Laquelle conduit à une meilleure précision sur la mesure ?

Plus l'incertitude associée est faible, plus la mesure est précise.

↳ La méthode 2 semble la plus précise.
La méthode 3 semble la moins précise.

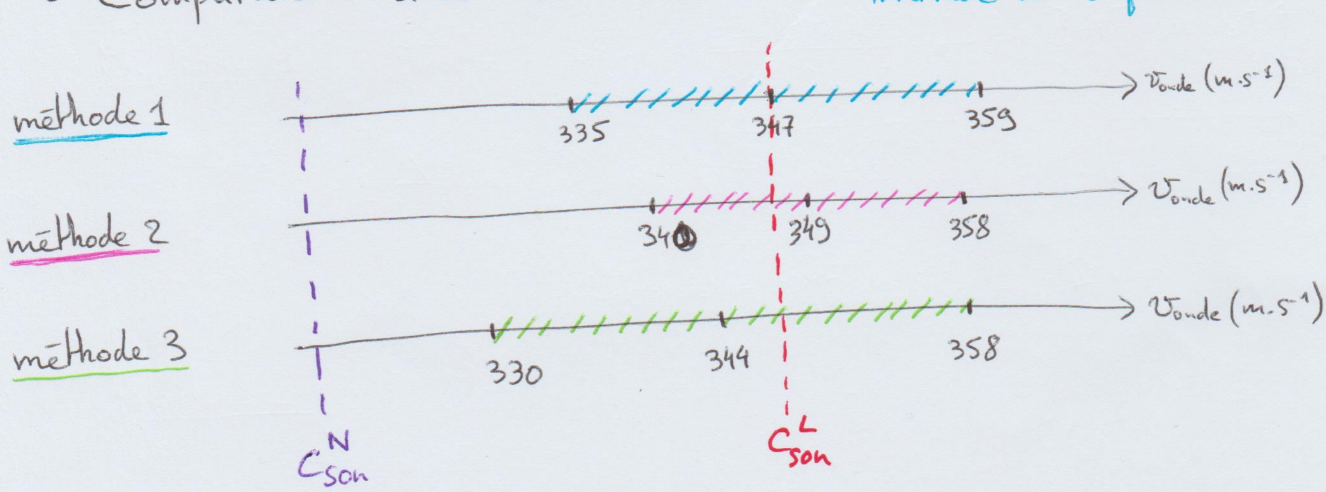
Réponse à la problématique :

- Calcul des valeurs de références (on prend $\theta = 26°C$)

Pour Newton : $c_{son}^{N} = \sqrt{\dfrac{R.T}{M}} = \sqrt{\dfrac{8{,}314 \times (273{,}15+26)}{29{,}0 \times 10^{-3}}} = 293 \text{ m.s}^{-1}$

Pour Laplace : $c_{son}^{L} = \sqrt{\dfrac{\gamma . R.T}{M}} = \sqrt{\dfrac{1{,}4 \times 8{,}314 \times (273{,}15+26)}{29{,}0 \times 10^{-3}}} = 347 \text{ m.s}^{-1}$

- Comparaison avec les mesures : intervalle de confiance.



On constate que la valeur prédite par le modèle de Laplace est comprise dans l'intervalle de confiance pour les 3 méthodes. L'expression donnée par Laplace est donc en accord avec les mesures : cette expression est validée.

Ce n'est pas le cas pour l'expression issue du modèle de Newton.

5. Conclusion :

Dans ce TP, nous avons déterminé la vitesse des ondes sonores dans l'air en utilisant 3 méthodes. Les résultats obtenus pour les 3 méthodes sont cohérents entre eux.
La méthode basée sur des mesures multiples pour plusieurs distances entre les 2 récepteurs est celle qui donne les résultats les plus précis.
Parmi les 2 relations proposées, celle associée au modèle de Newton et celle associée au modèle de Laplace, nous constatons que seule la formule de Laplace est en accord avec nos mesures. C'est donc la formule qu'il faut retenir.