

Mesures et incertitudes : activité pour les élèves

Mesure de la célérité des ondes sonores : version A



Cette activité est adossée au programme de la partie « Ondes » de la spécialité SPCL (Sciences Physiques et Chimiques en Laboratoire) de la classe de terminale. Elle peut être proposée dans la séquence 2 : « l'onde, un phénomène de propagation ». Cette activité est proposée en deux versions :

- **Version A** : l'incertitude de la célérité mesurée est évaluée par une méthode de type A et la valeur obtenue est comparée à une valeur de référence.
- **Version B** : l'incertitude de la célérité mesurée est évaluée par une méthode de type B ; le poids des différentes sources d'erreur est estimé afin de trouver des moyens d'améliorer le protocole.

Objectif de l'activité

Chaque binôme d'élève va effectuer une mesure de la célérité des ondes sonores en appliquant le même protocole. Une étude statistique de l'ensemble des résultats obtenus nous permettra de porter un regard critique sur le résultat de la mesure.

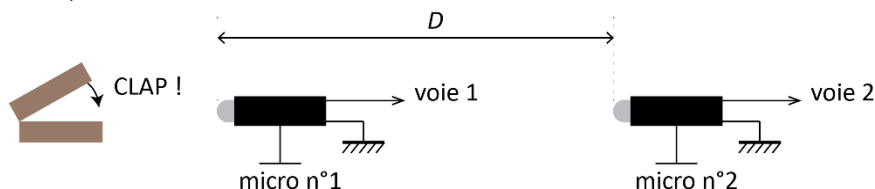
1. Réalisation et première exploitation des mesures

Objectif de l'expérience

Le protocole suivant permet de réaliser l'enregistrement des signaux acquis par deux micros distants, à partir de la date à laquelle le premier micro reçoit un son d'amplitude suffisante. Ainsi un « clap sonore » à proximité du premier micro déclenchera l'enregistrement. La mesure de la durée de propagation de l'onde sonore entre les deux micros et de la distance qui les sépare nous permettra de calculer la célérité de l'onde sonore dans l'air.

Protocole de l'expérience

- Placer deux micros, alignés, à une distance voisine de 1 m l'un de l'autre.
- Brancher chacun des deux micros à une entrée de la carte d'acquisition.
- Régler ainsi le logiciel d'acquisition :
 - durée totale de l'acquisition : 6 ms ;
 - nombre de points : environ 1000 ;
 - déclenchement sur le signal acquis par le micro n°1, dans le sens montant, pour un seuil de 100 mV environ ;
 - pré-trig : 25 % (ce réglage permet de visualiser le signal acquis avant la réalisation de la condition de déclenchement).

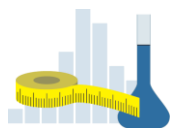


Réalisation des mesures

- Lancer l'acquisition : le logiciel attend que la condition de déclenchement soit réalisée.
- Faire un « clap sonore » devant le micro n°1 (en se plaçant dans l'axe des deux micros) : l'acquisition se déclenche.

NB :

- si l'acquisition se déclenche avant le clap sonore, demander aux autres de faire moins de bruit ou élever le seuil du déclenchement ;
- si le signal acquis présente des saturations, faire un clap moins fort ou plus loin du micro n°1.



- Mesurer la distance D entre les entrées deux micros.
- Exploiter le graphique obtenu pour mesurer la durée de propagation de l'onde sonore Δt entre les deux micros.

Exploitation des mesures

1. Noter les valeurs de D et Δt mesurées précédemment.
2. Rappeler l'expression de la célérité de l'onde sonore en fonction de D et Δt et calculer sa valeur.
3. Noter les valeurs mesurées dans la feuille de calcul ouverte sur le bureau du professeur.

2. Synthèse des résultats et étude critique du résultat de mesure

DOCUMENT 1 : évaluation d'une incertitude-type par une méthode de type A

Si l'on dispose d'un échantillon de n valeurs d'une même grandeur physique x , alors :

- le meilleur estimateur de la valeur de x est la moyenne des valeurs de l'échantillon ;
- son incertitude-type peut être évaluée à partir de l'écart-type s de l'échantillon par la relation :

$$u(x) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

DOCUMENT 2 : expression théorique de la célérité d'une onde sonore dans un gaz

Si l'on suppose valide le modèle du gaz parfait, si ce gaz est supposé diatomique (c'est-à-dire constitué de molécules composées de deux atomes) et si la propagation de l'onde sonore est supposée sans dissipation d'énergie, on démontre que sa célérité s'exprime par la relation :

$$v = \sqrt{\frac{7 RT}{5 M}}$$

- T étant la température absolue du gaz en K – rappel : $T_{(K)} = T_{(°C)} + 273$ K ;
- $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ étant la constante du gaz parfait ;
- $M = 0,029 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ étant la masse molaire moyenne de l'air (à condition de supposer qu'il n'est constitué que de dioxygène et de diazote).

DOCUMENT 3 : comparaison d'un résultat de mesure à une valeur de référence

Une valeur de référence x_{ref} d'une grandeur x est une valeur supposée avoir une incertitude beaucoup plus faible que la valeur mesurée x_{mes} à laquelle on la compare.

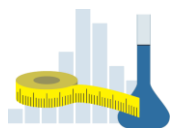
On considère que la valeur mesurée est compatible avec la valeur de référence si leur différence (en valeur absolue) est inférieure au double de l'incertitude-type, soit :

$$|x_{\text{mes}} - x_{\text{ref}}| \leq 2 \times u(x_{\text{mes}})$$

4. Une fois que tous les binômes ont terminé leurs mesures, l'enseignante ou l'enseignant rend accessible à tous la feuille de calcul qui rassemble les résultats de mesure. À l'aide du tableur, calculer dans les cellules D22 et D23 la moyenne et l'écart-type de l'échantillon de valeurs.

Syntaxe à utiliser :

- pour calculer une moyenne : « = MOYENNE (plage) »
 - pour calculer un écart-type :
 - sous LibreOffice : « = ECARTYPE.S (plage) »
 - sous Excel (version avant 2014) : « = ECARTYPE (plage) »
 - sous Excel (version récentes) : « = ECARTYPE.STANDARD (plage) »
5. Exploiter le document 1 pour calculer, dans la cellule D24, l'incertitude-type de la valeur moyenne v_{moy} des célérités obtenues. Présenter le résultat de la mesure collective sous la forme d'une phrase respectant le modèle :
« Les mesures de la célérité des ondes sonores conduisent à une valeur moyenne de ... avec une incertitude-type estimée à ... »



On cherche à présent à savoir si le résultat de la mesure collective de la célérité des ondes sonores dans l'air est compatible avec le modèle théorique présenté dans le document 2.

6. Mesurer la température ambiante de la salle de classe puis, à l'aide de la relation donnée dans le document 2, calculer la valeur théorique de la célérité des ondes sonores dans l'air. Cette valeur sera considérée comme une référence, donc notée v_{ref} . Noter sa valeur dans la cellule D25 de la feuille de calcul.
7. Le fait de la considérer comme une référence implique-t-il que la valeur précédente ait une incertitude de valeur nulle ? Si non, faire la liste de ses sources d'erreur en exploitant les indications du document 2.
8. Exploiter le document 3 pour évaluer la compatibilité entre la valeur moyenne mesurée et la valeur calculée à la question 6.