



TP S3 - MESURE DE LA CÉLÉRITÉ DU SON DANS L'AIR

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

Capacités expérimentales	
Evaluer une incertitude de type A ou de type B	✓
Analyser le mesurage et les sources d'erreurs	✓
Mesurer une longueur par déplacement d'un viseur entre deux positions	✓
Mesurer une fréquence : choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage et la durée totale d'acquisition	✓
Mesurer une longueur d'onde acoustique à l'aide d'un support gradué et d'un oscilloscope	✓
Choisir, concevoir ou justifier un protocole ou un dispositif expérimental	✓
Ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène	✓
Acceptabilité du résultat et analyse du mesurage par comparaison avec une valeur de référence	✓

1 But de l'expérience

Nous cherchons à mesurer la célérité du son dans l'air. Durant la manipulation, il faudra réaliser l'acquisition numérique de signaux ultrasonores : ce sera l'occasion d'une discussion approfondie avec le professeur concernant le paramétrage de l'acquisition numérique d'un signal, tout particulièrement la *synchronisation du déclenchement* de l'acquisition. Les incertitudes-type seront estimées par une méthode statistique (incertitude de type A) : voir doc.4.

2 Matériel à disposition

Matériel à disposition :

1. un émetteur ultra-sonore,
2. un récepteurs ultra-sonore,
3. un banc gradué en mm,
4. papier millimétré,
5. règle graduée en mm,
6. carte d'acquisition et logiciel associé.

L'émetteur peut fonctionner en mode d'émission :

- continu : émission d'une onde progressive sinusoïdale ultra-sonore de fréquence voisine de 40 kHz ;
- impulsionnel : émission d'une impulsion ultra-sonore (onde de très courte extension spatiale et temporelle).

3 Mesure de la célérité du son

1. En vous appuyant sur vos connaissances et sur les documents fournis, élaborer un protocole expérimental permettant de mesurer la célérité c_s des ondes sonores dans l'air.
2. Une fois validé, mettre en œuvre ce protocole. Le résultat de la mesure devra être accompagnée d'une incertitude-type déterminée statistiquement. On utilisera le module statistique du logiciel **Regressi**.

4 Modèles de Newton et de Laplace

Le modèle de Newton des ondes sonores prédit une célérité du son dans l'air s'écrivant :



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

Le modèle de Laplace des ondes sonores prédit une célérité du son dans l'air s'écrivant :

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

avec $\gamma = 1.4$, $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, $M = 29.0 \text{ g mol}^{-1}$.

Qu'en pensez-vous ?

Doc.1 – Retard à la propagation

Soit une onde progressive se propageant dans un milieu homogène linéaire et de célérité c dans ce milieu. Soit d la distance entre deux points de l'espace P_1 et P_2 : le retard à la propagation du signal de P_1 à P_2 vaut :

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

Doc.2 – Longueur d'onde d'une onde progressive monochromatique

Soit une onde progressive monochromatique de fréquence f se propageant dans un milieu homogène linéaire et de célérité c dans ce milieu. Pendant une période $T = \frac{1}{f}$, l'onde se propage sur une distance λ , appelée longueur d'onde. c , f et λ vérifient donc :

$$C = \lambda.f$$

Doc.3 – Évaluation d'une incertitude de type A

L'évaluation de type A de l'incertitude-type est réalisée par l'analyse statistique de séries d'observations : moyenne et écart-type. On réalise N observations indépendantes m_k dans les conditions de répétabilité. On montre que la meilleure estimation du résultat de la mesure est donnée par la moyenne

$$\bar{m} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N m_k$$

L'écart-type expérimental relatif à la série est donné par :

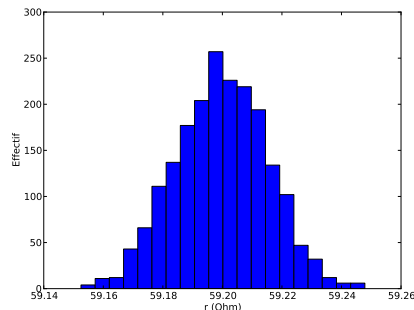
$$s_{exp} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (m_k - \bar{m})^2}$$

On définit alors l'incertitude-type par l'écart-type s sur la valeur moyenne \bar{m} .

Le meilleur estimateur de cet écart-type est :

$$s = \frac{s_{exp}}{\sqrt{N}}$$

☛ exemple : on mesure 2000 fois la résistance r d'un dipôle dans des conditions de répétabilité. On obtient la distribution



Distribution des mesures

La valeur mesurée est la moyenne de la série de mesures :

$$\bar{r} = 59.199\,678\,739\,\Omega$$

L'écart-type de la série de mesures vaut :

$$s_{exp} = 0.015\,412\,916\,974\,2\,\Omega$$

L'incertitude est l'écart-type de la série de mesures divisé par

$$\sqrt{2000} : s = \frac{s_{exp}}{\sqrt{2000}} = 0.000\,344\,643\,009\,\Omega.$$

Finalement, avec un intervalle de confiance à 95%, on mesure :

$$r = 59.19 \pm 0.03\Omega$$