

## Activité 2 B Mesure de la célérité du son

**Objectifs** : Déterminer expérimentalement la période, la longueur d'onde puis la vitesse de propagation (ou célérité) d'ondes mécaniques sonores ou ultrasonores. Évaluer l'erreur absolue et relative de la mesure. Interpréter le résultat obtenu.

**Compétences** :

Extraire des informations utiles d'une observation, d'un texte ou d'une représentation conventionnelle – Réaliser le dispositif expérimental correspondant au protocole, réaliser une série de mesures et relever les résultats – Extraire des informations des données expérimentales et les exploiter, estimer l'incertitude d'une mesure, confronter un modèle à des résultats expérimentaux.

### 1. Petite histoire de la mesure de la vitesse du son

sources : [fr.wikipedia.org](http://fr.wikipedia.org) – <http://vieux-marcoussis.pagesperso-orange.fr> - [www.chimix.com](http://www.chimix.com)

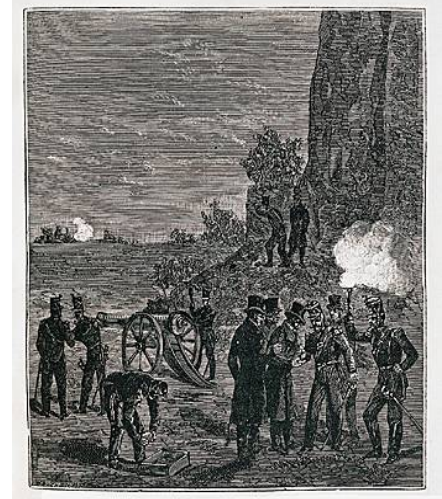
Les premières expériences visant à mesurer la vitesse du son furent l'œuvre de Marin Mersenne durant la Renaissance. Il trouva une vitesse de 230 toises (soit 448 m) par seconde.

Depuis le développement de l'artillerie, l'art militaire avait montré que le son émis par un canon arrivait longtemps après avoir observé la lumière émise par l'explosion de la poudre. Malgré les nombreux travaux antérieurs, la connaissance de la vitesse du son restait imprécise au XVIII<sup>e</sup> siècle.

L'Académie des sciences française chargea en 1738 Cassini de Thury, Maraldi et l'Abbé de la Caille d'organiser des nouvelles expériences.

Dans son rapport « Sur la propagation du son » publié par l'Académie des Sciences en 1738, César-François Cassini de Thury écrivit :

« Quoiqu'on ait toujours remarqué que le Son employait plus ou moins de temps à se transmettre à nous suivant que nous sommes plus ou moins éloignés du lieu où il est produit, cependant il ne paroît pas que l'on ait encore déterminé avec toute la précision l'espace qu'il parcourt dans un temps donné... ».



Avec Maraldi, l'abbé de La Caille, ils décidèrent de faire cette mesure avec exactitude « nous choisîmes pour cet effet l'Observatoire, Montmartre, la Tour de Montlhéry, Dammartin, et divers autres lieux dont les distances étoient connues exactement par les observations qui y ont été faites ci-devant pour déterminer la Méridienne et le Parallèle de Paris ».

Toutes les expériences furent faites la nuit pour mieux apercevoir les lumières des canons. Les principaux résultats furent :

- le son parcourt 173 toises (soit 337,2 m) en une seconde ;
- la vitesse du son est uniforme, [...] ;
- l'intensité [...] du son ne change rien à sa vitesse.

Enfin, dans le même ouvrage, l'Abbé Nollet démontre que « le son décroît comme le carré de la distance qui augmente ».

En 1822, François Arago et Gaspard de Prony réalisent de nouvelles expériences plus rigoureuses, sur ordre du Bureau des longitudes. Cette fois-ci ils décident d'utiliser des tirs croisés. Monsieur l'abbé Pinault relate cette expérience : « Les deux stations que l'on avait choisies étaient Villejuif et Montlhéry. À Villejuif, le capitaine Boscardy fit déposer, sur un point élevé, une pièce de six <sup>1</sup>, avec des gargousses <sup>2</sup> de deux et trois livres de poudre ».

Les coups de canons seront tirés en même temps, de cette manière, les expérimentateurs espèrent limiter les perturbations dues au taux d'hygrométrie, de vitesse du vent, de pression et de température. De plus, des chronomètres plus précis sont utilisés. Les expériences ont lieu dans les nuits du 21 et 22 juin 1822. Les résultats donnent la valeur de 340,88 m.s<sup>-1</sup> à une température de 15,9 °C. Après correction, la vitesse à 0 °C est de 330,9 m.s<sup>-1</sup>.

<sup>1</sup> pièce de canon ; <sup>2</sup> charge de poudre contenue dans une enveloppe de tissu ou de papier au diamètre de la chambre du canon.

Le développement de la mécanique des fluides a permis d'élaborer un modèle pour la propagation des ondes mécaniques dans les gaz. L'expression théorique de la célérité de ces ondes qui découle de ce modèle est :

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

avec le coefficient  $\gamma = 1,40$  pour l'air, la constante des gaz parfaits  $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , la température  $T$  en Kelvin ( $T \text{ (K)} = \theta \text{ (}^\circ\text{C)} + 273,15$ ), la masse molaire de l'air  $M$  en  $\text{kg.mol}^{-1}$ .

**Questions :**

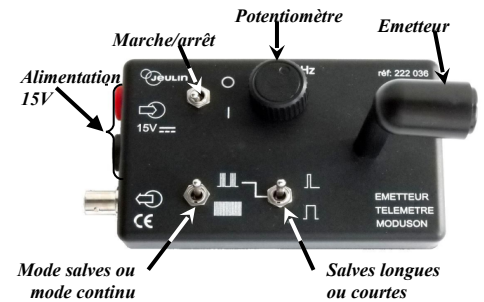
1. A partir du texte, préciser les paramètres physiques dont dépend et ne dépend pas la vitesse du son dans l'air.
2. Poser le calcul numérique et donner la valeur de la vitesse du son à la température de la pièce, la masse molaire de l'air étant  $M = 28,9644 \text{ g.mol}^{-1}$ .

## 2. Mesurer la célérité de l'onde ultrasonore

On souhaite déterminer la célérité  $v$  de l'onde ultrasonore en déterminant le retard  $t$  entre l'émission d'un paquet d'onde et sa réception. On dispose pour cela d'un émetteur et d'un récepteur ultrasonore.

### Montage :

- ✘ Alimenter l'émetteur à ultrasons E avec une tension continue de 15 V.
- ✘ Sélectionner le mode salve courte sur l'émetteur E.
- ✘ Pour pouvoir visualiser et enregistrer les signaux reçus, relier l'émetteur à l'interface d'acquisition sur l'entrée 1.
- ✘ De même relier le récepteur à l'entrée 2
- ✘ Lancer le logiciel Généraliste dans la console Foxy.
- ✘ Faire glisser les icônes pour observer les signaux de l'émetteur et du récepteur en fonction du temps.
- ✘ Dans l'onglet *Fonction du temps* entrer la valeur 1000 pts sur une durée totale de 10 ms.
- ✘ Choisir le bon calibre pour que la tension ne soit pas saturée en ordonnées.



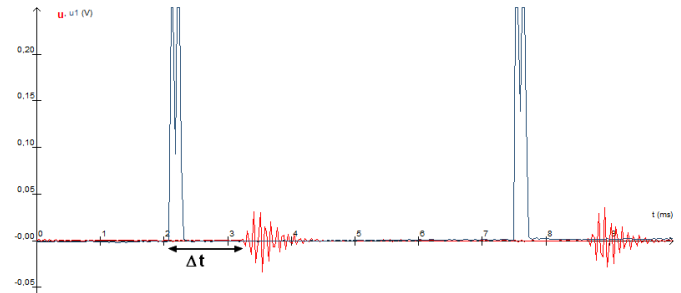
### Mesures et exploitation

En éloignant le récepteur de l'émetteur on observe un retard  $\Delta t$  entre le signal émis et le signal reçu.

- ✘ A partir de là, proposer un protocole permettant de déterminer la vitesse de ces ondes ultrasonores.
- ✘ Effectuer alors la ou les mesures nécessaires et déterminer la vitesse de ces ondes.

Faire plusieurs mesures et une moyenne des résultats.

Comparer votre résultat avec la valeur théorique obtenue à la question 1.2.



## 3. Période temporelle et période spatiale des ondes ultrasonores

### 3.1. Mesure de la période temporelle

#### Montage :

- ✘ Choisir une émission continue (onde périodique) sur l'émetteur.
- ✘ Débrancher l'émetteur de l'interface Foxy et coller l'émetteur face au récepteur.
- ✘ Choisir le bon calibre pour que la tension ne soit pas saturée en ordonnées.
- ✘ Sélectionner une durée d'acquisition de 100  $\mu$ s et 501 points et une **acquisition continue**.
- ✘ Lancer l'acquisition.

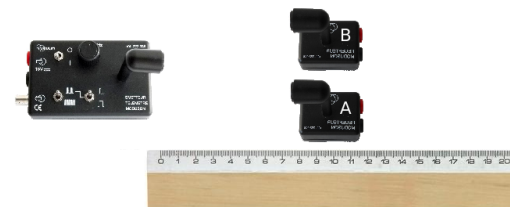
#### Mesures :

- ✘ Stopper l'acquisition continu.
- ✘ Déterminer la période du signal reçu à l'aide de l'outil pointeur. Faire la mesure sur plusieurs périodes.
  1. Comment varie le signal reçu en fonction de la position du récepteur ? Soyez précis.
  2. Calculer la fréquence des ultrasons et justifier que l'onde ne soit pas audible.

### 3.2. Mesure de la longueur d'onde

#### Montage

✘ On ajoute un 2<sup>e</sup> récepteur relié à l'entrée 1 de la console Foxy. Les récepteurs sont placés côte à côte le long d'une règle. Lors des mesures, on fera coulisser un des récepteurs le long de la règle de manière à ce qu'il reste en face de l'émetteur. L'émetteur doit émettre en continu.



#### Observations

- ✘ Faire apparaître les signaux reçus par le 2<sup>e</sup> récepteur en fonction du temps.
- ✘ Lancer l'acquisition (toujours en mode continu) et repérer une position du récepteur A ou B pour laquelle les abscisses des maxima des deux courbes ainsi que celles de leurs minima soient confondues. Les ondes sont alors dites « **en phases** ».
- ✘ Éloigner lentement le récepteur B du récepteur A et observer les courbes à l'écran.

#### Exploitation

1. Qu'observe-t-on pour certaines positions du récepteur B lorsqu'on décale celui-ci du récepteur A ?
2. Sachant que la longueur  $\lambda$  est la distance séparant 2 positions consécutives du récepteur pour lesquels les ondes sont en phase, déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  des ultrasons émis par l'émetteur. S'aider éventuellement de l'animation sur le site [lfbisciences.com](http://lfbisciences.com)/chapitre 2.
3. A l'aide des résultats des paragraphes 3.1 et 3.2 et de votre cours déterminer la célérité des ondes ultrasonores.
4. Comparer votre résultat avec la valeur obtenue à la question 1.2.

Elevés (7 et 6 groupes)	Prof
1 émetteur et 2 récepteur (A&B) à ultrasons. 1 banc à ultrasons 1 generateur 12V 4 fils rouge longs + 4 fils noirs longs 1 foxy	1 emetteur et 2 récepteur (A&B) à ultrasons. 1 banc à ultrasons 1 generateur 12V 4 fils rouge longs + 4 fils noirs longs

## Activité 2 B Mesure de la vitesse du son

### 1. Petite histoire de la mesure de la vitesse du son

#### Questions :

1. A partir du texte, donner les paramètres physiques dont dépend ou ne dépend pas la vitesse du son dans l'air.

<i>La vitesse dépend</i>	<i>La vitesse ne dépend pas</i>
<i>De l'humidité de l'air (hygrométrie) vitesse du vent pression atmosphérique température de l'air (+ Masse molaire de l'air si l'on change d'altitude)</i>	<i>de l'intensité du son</i>

2. Poser le calcul numérique et donner la valeur de la vitesse du son à la température de la pièce, la masse molaire de l'air étant  $M = 28,9644 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \sqrt{\frac{1,40 \times 8,314 \times (25 + 273,15)}{28,9644 \times 10^{-3}}} = 346 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

### 2. Mesurer la célérité de l'onde ultrasonore

#### Mesures et exploitation

En éloignant le récepteur de l'émetteur on observe un retard  $\Delta t$  entre le signal émis et le signal reçu.

✂ A partir de là, proposer un protocole permettant de déterminer la vitesse de ces ondes ultrasonores.

On place le récepteur en face de l'émetteur à une distance  $d$  connue (par ex. 10,0cm). On mesure le retard  $t$  entre l'émission et la réception puis on en déduit la célérité avec la formule  $v = \frac{d}{t}$ .

On réalisera plusieurs mesures afin de faire une moyenne des résultats

✂ Effectuer alors la ou les mesures nécessaires et déterminer la vitesse de ces ondes.

Faire plusieurs mesures et une moyenne des résultats.

Comparer votre résultat avec la valeur théorique obtenue à la question 1.2.

Moyenne des résultats :  $v_{\text{exp}} = 2,69 \times 10^2$

Si on compare avec la valeur théorique on obtient l'écart relatif suivant :  $\frac{\Delta v}{v} = \frac{|3,5 \times 10^2 - 2,69 \times 10^2|}{3,5 \times 10^2} \approx 23\%$

### 3. Période temporelle et période spatiale des ondes ultrasonores

#### 3.1. Mesure de la période temporelle

✂ Déterminer la période du signal reçu à l'aide des outils Foxy. Faire la mesure sur plusieurs périodes.

$$T = \frac{\Delta t}{\text{nombre de période}} \approx 2,38 \times 10^{-5} \text{ s}$$

1. Comment varie le signal reçu en fonction de la position du récepteur ? Soyez précis.

*L'amplitude diminue avec la distance, mais par contre la période T reste constante.*

2. Calculer la fréquence des ultrasons et justifier que l'onde ne soit pas audible.

$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,38 \times 10^{-5}} = 42,0 \times 10^3 \text{ Hz}$  Cette fréquence est environ 2 fois plus importante que la fréquence maximale d'un son entendue par l'homme (20 kHz), ces ultrasons sont donc bien inaudibles pour l'homme.

#### 3.2. Mesure de la longueur d'onde

**Exploitation**

5. Qu'observe-t-on pour certaines positions du récepteur B lorsqu'on décale celui-ci du récepteur A ?

*Pour certaines distances entre A et B les maxima et les minima des récepteurs sont confondus. On dit que les récepteurs sont en phases.*

6. Sachant que la longueur  $\lambda$  est la distance séparant 2 positions consécutives du récepteur pour lesquels les ondes sont en phase, déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  des ultrasons émis par l'émetteur.

S'aider éventuellement de l'animation sur le site [lfbosciences](http://lfbosciences.com)/chapitre 2.

*Pour 10 passages successifs des maxima et minima confondus on peut obtenir approximativement une distance  $d = 97 \text{ mm}$  à plus ou moins  $1 \text{ mm}$ . On obtient la longueur d'onde en divisant cette distance par 10 :*

$$\lambda = 97/10 = 9,7 \text{ mm}$$

7. Déduire des paragraphes 3.1 et 3.2 la célérité des ondes ultrasonores.

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{9,7 \times 10^{-3}}{2,38 \times 10^{-5}} = 407,563 \approx 4,1 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

8. Comparer à la valeur théorique en calculant l'écart relatif  $\Delta v/v$ .

*Si on compare avec la valeur théorique on obtient l'écart relatif suivant :*  $\frac{\Delta v}{v} = \frac{|3,5 \times 10^2 - 4,1 \times 10^2|}{3,5 \times 10^2} \approx 18\%$

*Ce qui est un peu mieux que la 1ère méthode !*