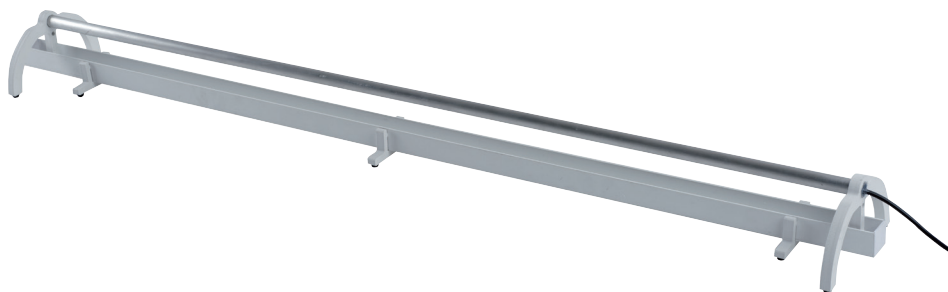




Maquette Célérité du son dans l'eau 09923

NOTICE



Retrouvez
l'ensemble
de nos gammes sur :
www.pierron.fr

 **PIERRON**
ÉQUIPEMENT PÉDAGOGIQUE SCIENTIFIQUE

PIERRON - ASCO & CELDA • CS 80609 • 57206 SARREGUEMINES Cedex • France

Tél. : 03 87 95 14 77 • Fax : 03 87 98 45 91

E-mail : education-france@pierron.fr

1 - Introduction

Ce dispositif permet de mesurer la vitesse du son dans l'eau en reliant distance et durée de propagation. Pour cela, on dispose d'une cuve remplie d'eau dans laquelle plongent deux microphones reliés à la carte son stéréo d'un PC (doté logiciel gratuit « Audacity »).

Il suffit de produire un bruit et de le capter à l'aide de chacun des deux micros relativement éloignés l'un de l'autre. En exploitant l'enregistrement, on observe que le bruit ne parvient pas en même temps à chacun des deux micros. La mesure de la durée Δt de propagation pour parcourir la distance d qui sépare les deux micros permet de calculer la vitesse (ou célérité, en toute rigueur) v du son dans les conditions de l'expérience.

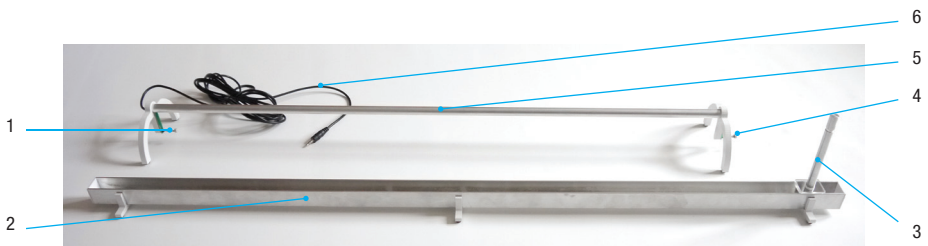
D'un point de vue pédagogique, en relation avec les commentaires des programmes, on peut d'abord :

- Présenter la problématique de la mesure d'une vitesse dont la valeur est relativement élevée : comment combiner distance « convenable » et durée correctement mesurable ?
- Puis l'illustrer à partir de l'expérience historique de COLLADON et STURM vers 1826 en s'appuyant sur le document proposé dans l'**Activité documentaire (§.1)**.
- Et enfin réinvestir cette étude pour mesurer la vitesse du son dans l'eau en utilisant le dispositif expérimental proposé par la maquette.

2 - Contenu de l'emballage

- Une cuve métallique (longueur 85 cm) sur 3 pieds, avec un guide de tige à une extrémité
- Deux micros montés sur un support à 2 pieds, et leur connectique
- Une tige (source sonore)
- Une notice

Description

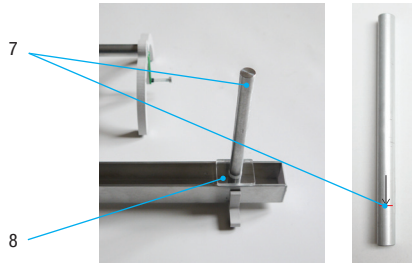


(1) : Microphone B
(2) : Cuve à eau sur 3 pieds
(3) : Source sonore

(4) : Microphone A
(5) : Support sur 2 pieds, doté de 2 micros
(6) : Câble de connexion muni d'un jack stéréo (\varnothing 3,5 mm)

Détail de la source sonore :

- (7) : Tige mobile verticalement, avec repère noir
 (8) : Guide de la tige



Utilisation

Le dispositif est immédiatement prêt à l'emploi :

- Placer la cuve sur un plan de travail horizontal : nécessaire pour que la profondeur de l'eau dans la cuve soit uniforme.
- Passer la tige (7) dans le trou du guide (8) prévu à cet effet, repère vers le bas.
- Mettre en place le support (5) de façon à ce que les deux micros soient immergés dans la cuve : micro **A** à 4 cm de l'axe de la tige (7).
- Remplir la cuve au 3/4 (environ) d'eau : les micros doivent être bien immergés et recouverts par un minimum de 5 mm d'eau.

Remarque :



Pour bien recevoir directement le son qui se propage dans l'eau, les micros ne sont pas particulièrement protégés, sans que cela porte préjudice à leur « sécurité ». Néanmoins, on veillera à manipuler avec soin afin de ne pas les endommager.

Activité

1 - Activité documentaire

1.1. Problème posé

Il s'agit de calculer la vitesse **v** du son dans un milieu matériel (exemples : l'air, l'eau).

1.2. Principe

Pour cela, on mesure la durée **Δt** de propagation pour que le son parcoure une distance **d** dans le milieu choisi. On calcule alors la vitesse en appliquant la relation :

$$v = d / \Delta t$$

1.3. Exemple de la célérité du son dans l'air

En 1822, les français François ARAGO et Gaspard de PRONY réalisèrent une expérience de mesure de la célérité du son dans l'air, décrite dans le compte-rendu ci-dessous.

D'après le document d'accompagnement sur le site **éduscol** : http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Signal/71/6/RA16_C4_PHCH_propagation_sons_signal_619716.pdf

Extrait du traité élémentaire de physique (1836) de Monsieur l'abbé PINAULT :

Les deux stations que l'on avait choisies étaient Villejuif et Monthéry. À Villejuif, le capitaine Boscary fit déposer, sur un point élevé, une pièce de six¹, avec des gargousses² de deux et trois livres de poudre. À Monthéry, le capitaine Pernetty fit déposer une pièce de même calibre, avec des gargousses de même poids.

Les expériences furent faites de nuit et commencèrent à onze heures du soir, le 21 et le 22 juin 1822. De Villejuif, on apercevait très distinctement le feu de l'explosion de Monthéry et vice versa : le ciel était serein et à peu près calme.

Les coups de canon des deux stations opposées étaient réciproques, de sorte que les résultats ne fussent pas influencés par le vent. Chacun des observateurs notait sur son chronomètre le temps qui s'écoulait entre l'apparition de la lumière et l'arrivée du son.

On peut prendre 54,6 secondes pour le temps moyen que le son mettait à passer d'une station à l'autre, sous une pression de 756,4 millimètre de mercure, la température étant de 15,9° Celsius, et l'hygrométrie marquant 72°. Les deux canons étaient à une distance de 9 549,6 toises³.

- À partir de l'expérience, calculer la vitesse du son dans l'air, dans les conditions de l'expérience, sachant qu'une toise correspond à 1,949 m.

On trouve : $v = (9\,549,6 \times 1,949) / 54,6 = 341 \text{ m.s}^{-1}$.

- Justifier le choix de l'ensemble des conditions expérimentales adoptées à cette époque.

On a choisi de bonnes conditions météorologiques :

- pour ne pas influencer sur la propagation du son dans l'air ;
- de faire des coups de canon dans les deux sens (compenser l'influence éventuelle du vent).

La vitesse du son étant relativement élevée, il faut choisir une distance de propagation suffisamment grande pour pouvoir mesurer la durée de propagation avec le plus de précision possible. Il faut tenir compte :

- de la précision des chronomètres de l'époque (au 1/10 s) ;
- du temps de réaction de l'expérimentateur au déclenchement et à l'arrêt du chronomètre.

Pour savoir à quel moment le son est produit à Villejuif, on exploite le fait que le coup de canon se produit en même temps que la lumière émise par l'explosion de la poudre. On déclenche alors le chronomètre à Monthéry lorsqu'on voit cette lumière, lumière qui est mieux perçue la nuit.

Ce qui suppose par ailleurs que la perception de la lumière soit instantanée, ou plus rigoureusement, cela revient à négliger légitimement la durée de propagation de la lumière devant celle du son :

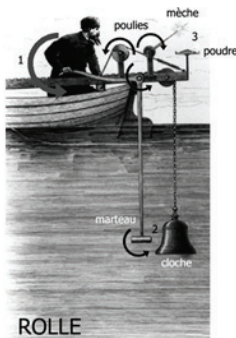
$$(9\,549,6 \times 1,949) / 300\,000 \cdot 10^3 = 6,20 \cdot 10^{-5} \text{ s} \ll 54,6 \text{ s.}$$

1.4. Exemple de la célérité du son dans l'eau

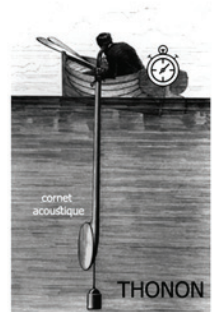
Le son se propage d'autant plus vite dans un milieu matériel que celui-ci est dense, comme dans le cas de l'eau. On est donc confronté à nouveau à la mesure d'une vitesse élevée (encore plus) ; d'où le choix, à la même époque, d'un mode opératoire semblable à celui de l'air.

Dans son livre de « Souvenirs et Mémoires », le physicien genevois Jean-Daniel COLLADON (1802-1893) relate l'une des expériences qu'il réalisa avec son père sur le lac Léman, en 1826.

La démarche consiste à produire un son dans l'eau en un point **A** du lac Léman et à mesurer la durée de sa propagation pour parvenir au point **B**, dans l'eau, à un autre bout du lac. Pour cela, il utilise deux barques sur le lac, relativement éloignées l'une de l'autre. La température de l'eau est alors de 8,1 °C.



Carte du lac Léman avec les emplacements des différentes expériences de Colladon pour déterminer la vitesse du son dans l'eau.



Dans la première barque (A), à 200 m de Rolle, en Suisse, se trouve son père qui dispose d'une cloche de 65 kg, immergée dans l'eau du lac. Un dispositif astucieux lui permet de produire un éclair lumineux (inflammation de la poudre de canon) en même temps qu'il frappe fortement la cloche à l'aide d'un marteau. En actionnant le levier coudé du marteau, il frappe la cloche. Simultanément, le levier tire sur une corde qui entraîne deux poulies : le mouvement de l'une d'elles amène la mèche sur de la poudre qui s'enflamme.

Dans la deuxième (B), à 200 m de Thonon, en France, se trouve COLLADON. Il dispose d'un cornet acoustique immergé dans l'eau. Dès qu'il perçoit l'éclair dû à la poudre enflammée, il déclenche le chronomètre. Puis, il l'arrête dès qu'il entend le son de la cloche dans le

cornet. Il mesure alors 9,4 s (valeur moyenne), durée de propagation du son pour parcourir la distance **AB** qui sépare les deux barques, soit 13 487 m.

En 1841, quinze ans plus tard, COLLADON conforte ses résultats en renouvelant ses expériences sur le lac, avec une cloche de 500 kg, sur une distance de près de 50 km, entre Montreux et Nyon (en Suisse).

- À partir de l'expérience, calculer la vitesse du son dans l'air, dans les conditions de l'expérience.

On trouve : $v = 13\,487 / 9,4 = 1\,435 \text{ m.s}^{-1}$

En fait $1,4 \cdot 10^3 \text{ m.s}^{-1}$ compte tenu du nombre de chiffres significatifs des mesures.

- Justifier le choix de l'ensemble des conditions expérimentales adoptées à cette époque.

☐ La vitesse du son étant relativement élevée, il faut choisir une distance de propagation suffisamment grande pour pouvoir mesurer la durée de propagation avec le plus de précision possible. Il faut tenir compte :

- de la précision des chronomètres de l'époque (au 1/10 s) ;
- du temps de réaction de l'expérimentateur au déclenchement et à l'arrêt du chronomètre.

☐ Pour savoir à quel moment le son de la cloche est produit à Rolle, on exploite le fait que le son est produit en même temps que l'éclair lumineux de la poudre enflammée. On déclenche alors le chronomètre à Thonon lorsqu'on voit cette lumière.

Ce qui suppose par ailleurs que la perception de la lumière soit instantanée, ou plus rigoureusement, cela revient à négliger légitimement la durée de propagation de la lumière devant celle du son :

$$13\,487 / 300\,000 \cdot 10^3 = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ s} \ll 9,4 \text{ s.}$$

Remarque : à 20 °C, la vitesse du son dans l'eau est de 1 480 m.s⁻¹.

1.5. Réinvestissement

- À partir de l'expérience historique de COLLADON, imaginer comment il serait possible de réaliser cette expérience à notre époque.
- Penser à réinvestir ce qui a pu être expérimenté à propos de la mesure de la vitesse du son dans l'air.

Remarque : le dispositif PIERRON « Maquette Célérité du son dans l'air : V-Son » (réf. 00271.10) en est une illustration.

2 - Activité expérimentale

2.1. Matériel nécessaire

- Une maquette célérité du son dans l'eau
- Un PC avec carte son stéréo, doté du logiciel « Audacity » (gratuit, téléchargeable)
- Un récipient avec bec verseur, contenant 500 mL d'eau
- Un mètre
- Un chiffon

2.2. But de l'expérimentation

Il s'agit de calculer la vitesse **v** du son dans l'eau à partir de la mesure de la durée Δt de propagation du son entre les deux micros distants de **d**. On a alors :

$$v = d / \Delta t$$

2.3. Préparatif

- Installer le dispositif (voir **§ Utilisation**)
- Relier le jack stéréo à la carte-son stéréo du PC
- Mesurer la distance **d** séparant les 2 « membranes » des microphones.

Remarques :

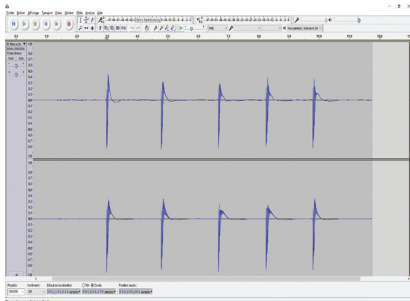


- Prévoir de parer à d'éventuelles maladroresses lors du remplissage de la cuve : le chiffon est un premier secours.
- Pour vider la cuve, procéder avec précaution : l'utilisation d'une seringue (60 mL) peut faciliter la tâche ; la proximité d'un évier peut rendre plus pratique cette opération.

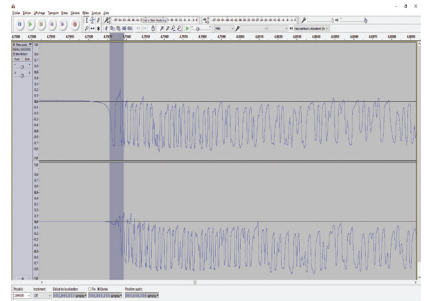
2.4. Considération pratiques importantes

- Cette maquette a été conçue pour mener à bien l'expérimentation dans des conditions habituelles de classe : aussi, le volume et la hauteur d'eau sont volontairement limités pour réduire l'encombrement du dispositif expérimental.
Pour exploiter au mieux le dispositif, il faut tenir compte des particularités de la propagation du son dans la cuve à eau. Le mode opératoire préconisé ci-dessous, est le mieux adapté à ces conditions matérielles.
- Aussi, on a choisi de produire un bruit de façon particulière afin qu'il soit reproductible, autant que possible. Pour cela, soulever doucement la tige (7) vers le haut, dans son guide (8) jusqu'à ce que le repère noir affleure la partie supérieure du guide. Puis, lâcher la tige bien verticalement : elle heurte alors le fond de la cuve en produisant un bruit « métallique ».

- Il est bon de remarquer que l'allure des courbes obtenues sur chacune des voies (micro **A** et micro **B**) à l'aide du logiciel « Audacity » ne sont pas analogues : il est possible de le constater en faisant une écoute séparée de chacune des pistes stéréo. Cette réalité physique n'est pas préjudiciable à l'expérimentation : le mode opératoire proposé prend en compte cet aspect expérimental.
- L'expérience exploite le décalage Δt dans le temps entre la réception du bruit par le micro **A** et le micro **B** en choisissant un aspect caractéristique des courbes : le seuil de déclenchement de chaque micro **dû au seul bruit**. On repère ainsi le premier seuil « significatif » reçu par le micro **A**, très près de la source sonore, et le premier seuil d'amplitude « **notable** », **relativement aux éventuels parasites sur la voie B** (voir illustrations ci-dessous).



E1. Enregistrement de 5 bruits successifs



E2. Agrandissement du premier bruit et mise en évidence des 2 seuils (A et B)

Cette recherche amène à effectuer des zooms successifs sur la partie significative des 2 courbes : il convient de faire un choix judicieux du zoom car s'il est trop important, l'identification des seuils peut être, au contraire, plus délicate.



La qualité des résultats est liée à cette bonne identification des seuils de déclenchement sur la voie A et sur la voie B. Ce qui peut être plus ou moins évident selon la carte d'acquisition sonore du PC et/ou de la rapidité du microprocesseur.

Aussi, il est conseillé de faire des tests au préalable pour choisir les réglages les plus appropriés.

Avant d'expérimenter, on peut mettre grandement à profit les indications/illustrations données au § 2.6 pour le PC utilisé, ainsi que les ressources vidéo présentées sur le site Pierron.

- La vitesse de propagation étant relativement importante, la mesure de la durée de propagation doit être effectuée avec le plus de précision possible. Aussi, il convient d'utiliser le logiciel « Audacity » au mieux de ses possibilités. Pour cela, la durée sera déterminée en « samples » et convertie évidemment en secondes ; en se plaçant dans la configuration suivante, on obtient le maximum de précision :

Projet à 384 000 (« samples »). Ce qui signifie 384 000 points d'acquisition par seconde.

Durée : en « samples ». Par exemple, une durée de 170 samples correspond à :
 $170 / 384\,000$ s.

- La mesure de Δt s'obtient en déterminant précisément l'intervalle de temps qui sépare les 2 seuils.

2.5. Mode opératoire et exploitation

- Ouvrir le logiciel « Audacity » : une bonne connaissance de l'utilisation de ce logiciel est nécessaire (voir au besoin l'**Annexe** page 12).
- Effectuer les réglages suivants :

■ Volume d'enregistrement :

Faire au besoin quelques essais pour se placer dans des conditions satisfaisantes : l'intensité du signal sonore enregistré doit être suffisante de façon à avoir un seuil de déclenchement clairement identifiable sur chaque voie (une trop grande amplification peut amener à une saturation et accentuation gênante de l'amplitude d'éventuels parasites).

■ **Projet à 384 000** (si possible).

■ **Durée** : en « samples ».

- Déclencher l'acquisition.
- Utiliser la tige (7) pour heurter le fond de la cuve : pour cela, monter la tige jusqu'à ce que son repère noir affleure le bord supérieur du guide et la lâcher verticalement, sans à-coups. **Il est conseillé d'effectuer plusieurs acquisitions successives, espacées, pour pouvoir faire une moyenne des résultats obtenus et écarter les éventuelles anomalies.**
- Arrêter l'acquisition.
- Observer et exploiter l'enregistrement à l'aide du logiciel « Audacity » pour déterminer la durée Δt qui correspond à la propagation du bruit entre les deux micros.

Il s'agit : - d'observer la non simultanéité des enregistrements obtenus sur les 2 voies ;
- de déterminer, avec le plus de précision possible, la durée Δt qui s'écoule pour que le bruit parcoure la distance d qui sépare les deux micros.

On en déduit alors la vitesse v du son dans les conditions de l'expérience, en appliquant la relation :

$$v = d / \Delta t$$

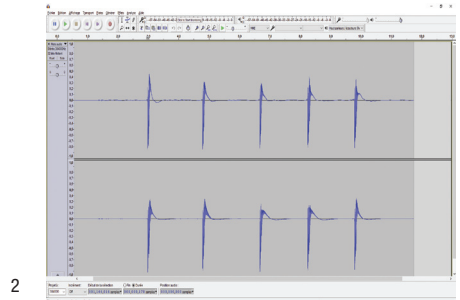
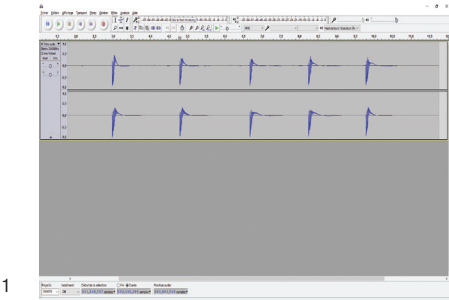


On précise à nouveau que la recherche des seuils de déclenchement de chacun des micros est l'étape essentielle qui détermine la qualité de la mesure (revoir, au besoin, illustrations § 2.4 et 2.6 et vidéos sur le site Pierron).

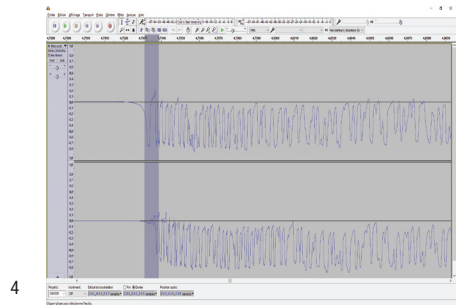
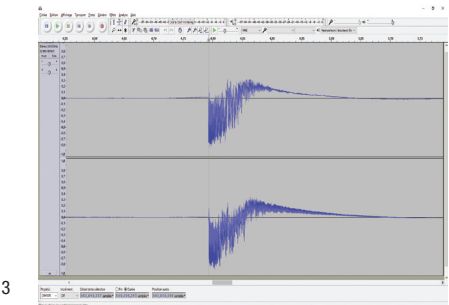
2.6. Illustration de l'enregistrement obtenu avec un PC

Conditions expérimentales : $d = 0,70 \text{ m}$; température : $T = 21^\circ\text{C}$

- Agrandir l'enregistrement (1) verticalement : résultat (2)



- Sélectionner un même bruit sur les 2 voies. Agrandir la sélection à l'aide de la « loupe sélective » : résultat (3). Sélectionner le début du bruit (3) et agrandir à nouveau cette sélection : résultat (4). Sélectionner alors le **premier seuil notable** sur la voie **A** et de même sur la voie **B** (instant où chaque micro commence à réagir au bruit).



- Faire enfin plusieurs zooms (« loupe + ») pour affiner la sélection et déterminer précisément la « bande » entre les deux extrema sélectionnés sur les deux voies : résultat (5). Déterminer la durée correspondante.

On obtient 170 points d'acquisition par seconde, soit :

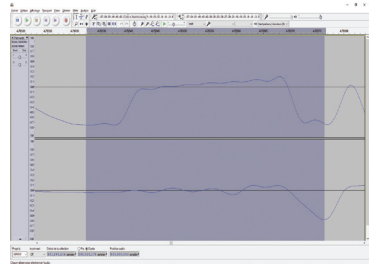
$$\Delta t = 170 / 384\,000 \text{ s}$$

- En déduire alors la vitesse du son dans l'eau, dans les conditions de l'expérience. Le calcul donne :

$$v = 0,70 / (170 / 384\,000) = 1\,581 \text{ m.s}^{-1}$$

soit compte-tenu du nombre de chiffres significatifs : $v = 1,58 \cdot 10^3 \text{ m.s}^{-1}$

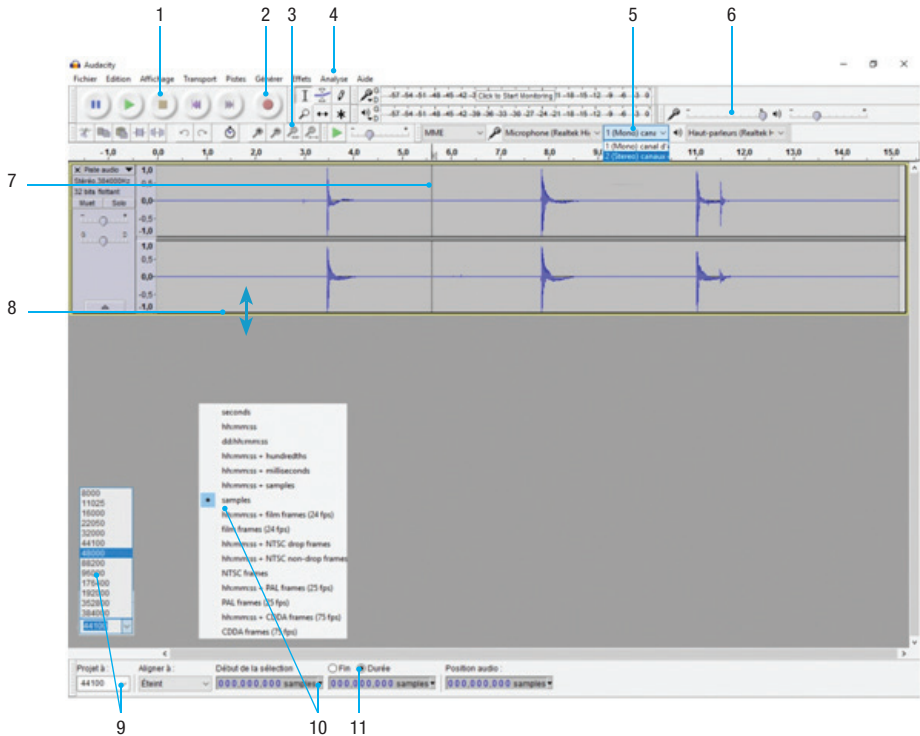
- Exploiter les autres enregistrements et faire la moyenne des résultats. ⁵



Les 4 autres durées obtenues : 180, 170, 181, 180 samples.

Soit une moyenne de la vitesse du son dans l'eau de $1,53 \cdot 10^3 \text{ m.s}^{-1}$ et un écart relatif à la donnée **1 480 m.s⁻¹ (20 °C)** de 3,4 %.

Éléments d'utilisation d'Audacity



- Pour effectuer un enregistrement sonore, il suffit de faire un clic gauche de la souris sur le symbole « rond rouge » **(2)**. Pour arrêter, appuyer sur le symbole « carré vert » **(1)**.
- Avant de passer à l'enregistrement expérimental d'un bruit ou d'un son, faire un enregistrement d'essai afin d'observer si la carte son du PC permet d'enregistrer un signal sonore d'amplitude convenable. Dans la négative, régler correctement le niveau d'enregistrement.
Pour cela, penser à utiliser le réglage du volume d'entrée, symbole micro **(6)** du logiciel « Audacity » et éventuellement, l'ampli micro accessible dans « Panneau de Configuration » de Windows .
- Selon la nature de l'enregistrement (mono ou stéréo), sélection l'option **(5)**.
- Choisir la « résolution » de l'enregistrement **(9)** dans « **Projet à** » ; par défaut : 44 100 (« samples » ou points d'acquisition). Ce qui signifie qu'en une seconde, il y a eu

44 100 points d'acquisition effectués. Plus la résolution est grande, plus le nombre de points d'acquisition est important.

- Choisir l'unité de l'affichage du temps **(10)** pour le « **Début de la sélection** » ; cette unité sera aussi celle de la « **Fin** » de la sélection. Il peut être plus judicieux de sélectionner « **Durée** » **(11)** au lieu de « **Fin** » : on a ainsi directement la durée correspondant à la sélection, mais attention pour de faibles durées, la précision sera insuffisante. Il convient alors de la déterminer directement à partir de l'axe des temps de l'enregistrement. Le choix de l'unité « **samples** » permet d'avoir la meilleure précision possible pour déterminer une durée : elle s'affiche directement dans la fenêtre « **Durée** » ; il suffit alors de faire la proportion, compte tenu du projet choisi. Par exemple : une durée de 174 samples pour un projet à 44 100 correspond à : $174 / 44\ 100$ s.
- Une fois l'acquisition effectuée, penser en particulier à agrandir verticalement la fenêtre d'enregistrements en plaçant la souris en **(8)** ; le curseur se transforme en double flèche. Effectuer un « clic gauche » de la souris puis, sans lâcher le clic, étirer-glisser jusqu'au bas de l'écran.
- Pour sélectionner une plage sonore afin de l'agrandir, placer le curseur de la souris en début de plage : le curseur devient un segment **(7)**, puis « clic gauche » de la souris et, sans relâcher, effectuer un déplacement horizontal jusqu'à la fin de la sélection choisie. Une bande grisée verticale apparaît alors. Appuyer enfin sur le symbole « loupe » **(3)** pour agrandir horizontalement cette sélection : dilatation de l'échelle du temps.
- Pour réaliser un spectre de fréquences, sélectionner la plage de l'enregistrement sonore à analyser puis choisir dans le menu « **Analyse** » **(4)** : Tracer le spectre . . .

1 - Entretien

En fonction de la dureté de l'eau utilisé, il peut être nécessaire de bien essuyer les micros après utilisation pour éviter tout dépôt de calcaire sur ces composants électroniques.

Toutes les opérations de maintenance ou de réparation doivent être réalisées par PIERRON - ASCO & CELDA. En cas de problème, n'hésitez pas à contacter le Service Clients.

2 - Garantie

Les matériels livrés par PIERRON - ASCO & CELDA sont garantis, à compter de leur livraison, contre tous défauts ou vices cachés du matériel vendu. Cette garantie est valable pour une durée de 2 ans après livraison et se limite à la réparation ou au remplacement du matériel défectueux. La garantie ne pourra être accordée en cas d'avarie résultant d'une utilisation incorrecte du matériel.

Sont exclus de cette garantie : la verrerie de laboratoire, les lampes, fusibles, tubes à vide, produits, pièces d'usure, matériel informatique et multimédia.

Certains matériels peuvent avoir une garantie inférieure à 2 ans, dans ce cas, la garantie spécifique est indiquée sur le catalogue ou document publicitaire.

Le retour de matériel sous garantie doit avoir notre accord écrit.

Vices apparents : nous ne pourrions admettre de réclamation qui ne nous serait pas parvenue dans un délai de quinze jours après livraison au maximum. À l'export, ce délai est porté à un mois.

La garantie ne s'appliquera pas lorsqu'une réparation ou intervention par une personne extérieure à notre Société aura été constatée.

A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, intended for handwritten notes.

