

Éléments pour construire l'activité des élèves

L'écholocation permet de mesurer une distance : une salve d'ultrasons est émise, et se réfléchit sur un obstacle. Connaissant la célérité de propagation c des ultrasons dans le milieu de propagation, il suffit de mesurer la durée Δt de l'aller-retour de la salve pour en déduire la distance d séparant l'émetteur de l'obstacle : $d = \frac{c \times \Delta t}{2}$. Ce principe est utilisé dans les sonars ou télémètres tels que celui modélisé ici.

Le but cette activité est de mesurer et d'étudier la variabilité de la distance d séparant l'émetteur de l'obstacle.

Le programme pour commander le microcontrôleur et effectuer l'acquisition de la série de mesures est fourni aux élèves dans l'environnement de développement.

Montage expérimental

1. Réaliser le montage comprenant une carte à microcontrôleur et un émetteur-récepteur à ultrasons.
2. Placer un obstacle à une distance fixe d comprise entre 1 et 3 m, en face de l'émetteur-récepteur à ultrasons (en utilisant le plafond comme obstacle si nécessaire).
3. Relier la carte à microcontrôleur à l'ordinateur, compiler et téléverser le programme. Visualiser sur le moniteur série les valeurs renvoyées par le programme.

Remarque : dans la suite du document nous considérerons que les valeurs correspondent à la distance, en μm , déterminée à partir de la mesure de la durée d'un aller-retour d'une salve ultrasonore entre l'émetteur-récepteur et l'obstacle.

Traitement des données

1. Lorsque les mesures sont terminées, sélectionner l'ensemble des données du moniteur série (CTRL+A) et les copier (CTRL+C).
2. Ouvrir le fichier numérique du tableur fourni, coller la série de mesures obtenues, puis représenter l'histogramme associé à cette série de mesures.
3. L'incertitude-type $u(d)$ de cette série de mesure est égale à : $u(d) = \frac{s}{\sqrt{N}}$ avec s l'écart-type de cette série de mesure et N le nombre de mesures réalisées. La valeur de s s'affiche automatiquement dans le tableur. Programmer le tableur pour afficher les valeurs de s , \sqrt{N} et $u(d)$ en μm et en m.
4. Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat de cette série de mesures sous la forme : $d = \bar{d}$ avec une incertitude-type $u(d) =$
5. Sachant que l'incertitude-type fournit une estimation de l'étendue des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur, vérifier si la distance mesurée à l'aide du télémètre est compatible avec la distance mesurée avec un mètre-ruban.
6. Modifier le code de la carte à microcontrôleur afin que le programme réalise l'acquisition d'une série de 500 mesures, puis copier ces mesures en remplacement des autres dans le tableur, sans oublier d'actualiser le graphique, en actualisant le tableau dynamique croisé si par exemple vous

utilisez LibreOffice (bouton droit sur la case du tableau puis sélectionner « actualiser »). Imprimer la page.

7. Recommencer la question précédente en faisant cette fois-ci l'acquisition d'une série de 2000 mesures.

Le fichier numérique fourni aux élèves est pré-rempli mais les élèves doivent représenter eux-mêmes l'histogramme associé à la série de mesures ; ils doivent également écrire eux-mêmes les lignes de code permettant d'évaluer l'incertitude-type de la série de mesures.

Influence du nombre de mesures sur les données, classes de données

1. Commenter l'évolution de l'incertitude-type en fonction du nombre de mesures effectuées.
2. Commenter l'évolution des histogrammes affichés en fonction du nombre de mesures effectuées.
3. Les mesures obtenues laissent apparaître une grande dispersion des valeurs. Pour faciliter leur lecture, elles peuvent être regroupées en classes. Regrouper les données en classes de $0,1 \text{ mm} = 100 \text{ }\mu\text{m}$. Par exemple, dans LibreOffice, sélectionner la première case du tableau croisé dynamique, puis dans Données/Plans et Groupes sélectionner Grouper, grouper par 100. Observer et commenter l'histogramme obtenu et sa dispersion.
4. Recommencer cette opération en regroupant les données en classe de 1 mm, puis 4 mm. Commenter l'évolution de l'histogramme, et terminer par une synthèse exploitant l'ensemble des données expérimentales.

Éléments pour le professeur

Cette séance peut être réalisée lors d'une séquence de 1h30. La mise en œuvre des mesures et le traitement des données peut être fait en une heure, ce qui laisse 30 minutes à 1 heure pour discuter des résultats. Le temps d'acquisition est de l'ordre de 2 minutes pour une série de 2000 mesures.

Chaque poste aura besoin d'une carte à microcontrôleur et d'un module émetteur-récepteur à ultrasons, ainsi que les fils et plaquette permettant de connecter l'ensemble. Le montage et la mise en œuvre du protocole sont relativement simples.

Le tableur pré-rempli peut être proposé avec des niveaux différents en fonction des compétences des élèves : exemples disponibles dans le fichier

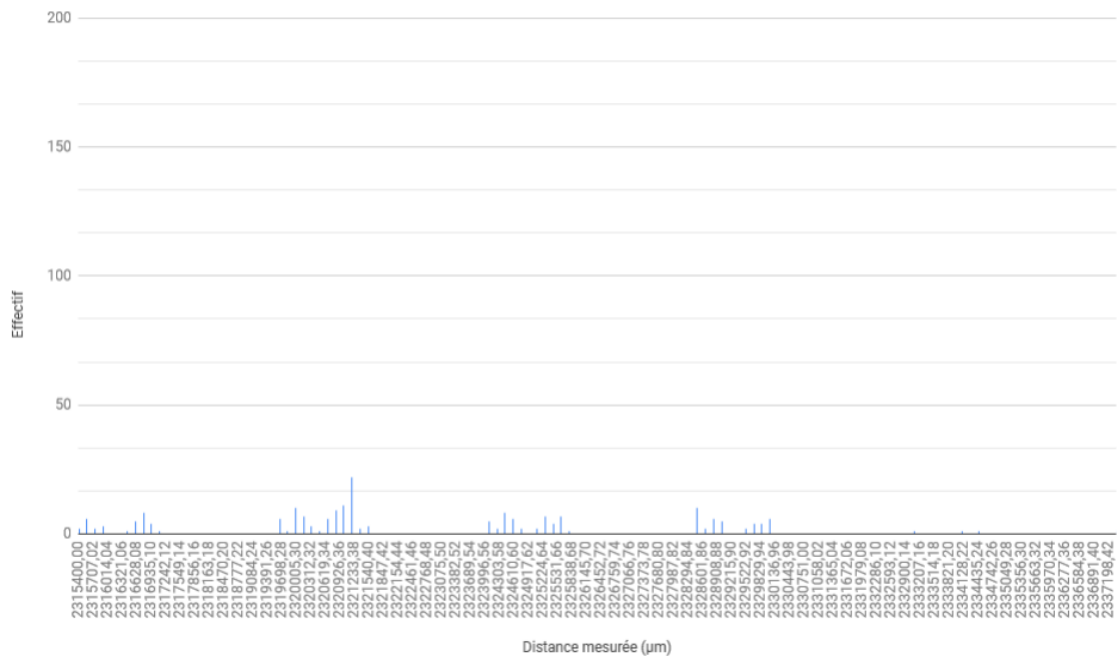
[GRIESP_1re_annexe_mesure_distance_microcontrôleurs.ods](#). Un tutoriel sur la table dynamique pourra être donné aux élèves en fonction du niveau choisi. De même, le code « microcontrôleur » proposé peut être adapté en fonction des spécialités choisies par les élèves : présence ou non de commentaires, lignes de code à écrire, modification de différents paramètres...

Une série de mesures effectuées à une distance de 2,32 m donne les résultats donnés dans le fichier [GRIESP_1re_annexe_mesure_distance_microcontrôleurs.ods](#) dans l'onglet US Incertitudes correction.

Résultats expérimentaux

Avec 200 mesures

Mesure de distance



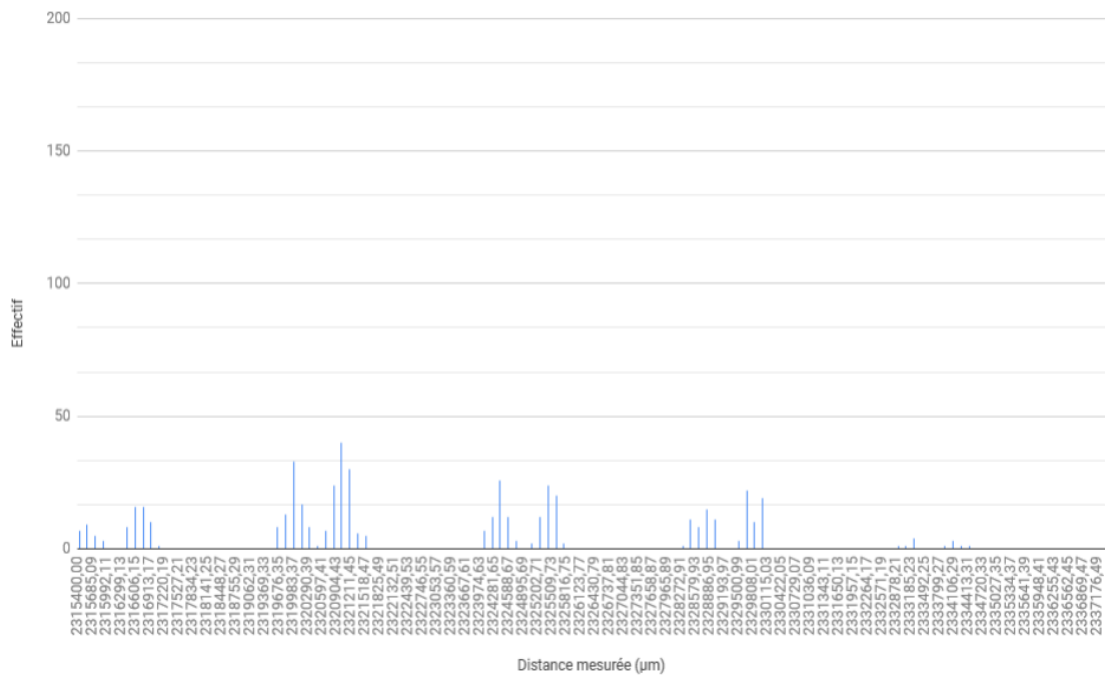
	Résultats fournis par le tableau	Résultats avec un nombre de CS adapté
Nombre de mesures	200	200
Étendue des mesures	2315400 à 2337330 µm	
Valeur moyenne	2322845,15 µm	2,323 m
Écart-type	4551,06989 µm	$4,6 \times 10^{-3}$ m
Incertitude-type	321,8092 µm	3×10^{-4} m

Note

Dans le tableau de mesures, on garde un chiffre significatif sur l'incertitude-type, qui impose ainsi la précision d'écriture de l'écart-type et de la valeur moyenne.

Avec 500 mesures

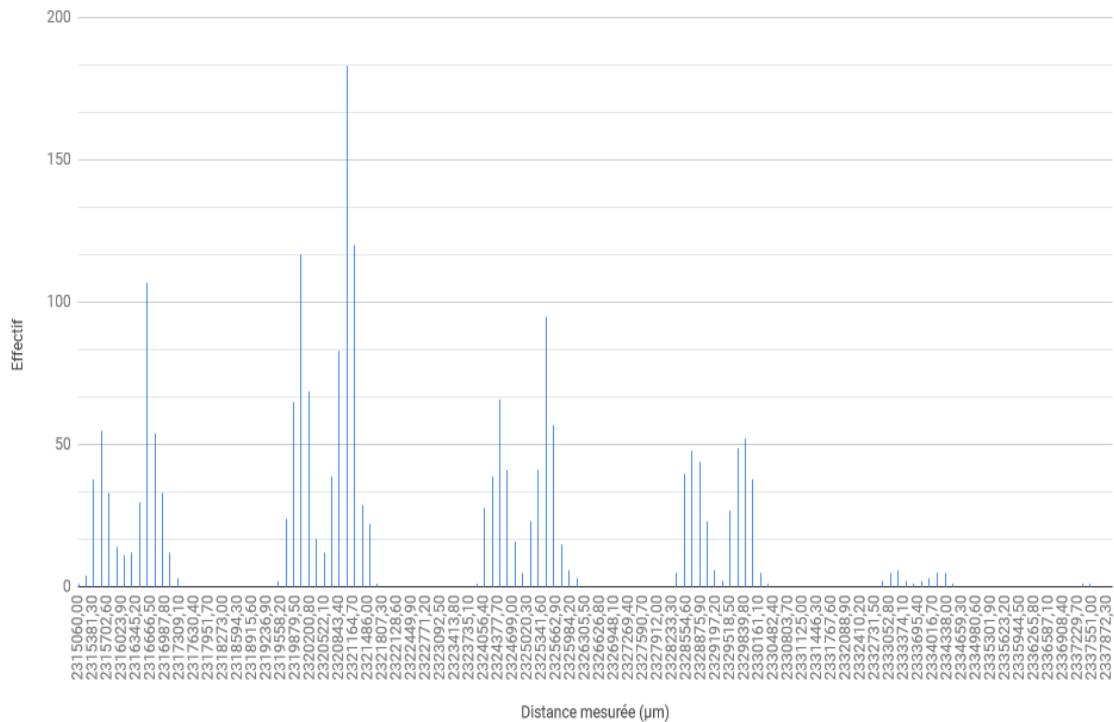
Mesure de distance



	Résultats fournis par le tableur	Résultats avec un nombre de CS adapté
Nombre de mesures	500	500
Étendue des mesures	2315200 à 2337840 µm	
Valeur moyenne	2323093,86 µm	2,323 m
Écart-type	4605,724644 µm	$4,6 \times 10^{-3}$ m
Incertitude-type	205,9743 µm	2×10^{-4} m

Avec 2000 mesures

Mesure de distance



	Résultats fournis par le tableau	Résultats avec un nombre de CS adapté
Nombre de mesures	2000	2000
Étendue des mesures	2315060 à 2338010 µm	
Valeur moyenne	2322394,675 µm	2,322 m
Écart-type	4586,21796712675 µm	$4,6 \times 10^{-3}$ m
Incertitude-type	102,5510 µm	1×10^{-4} m

Analyse des résultats

On observe avec l'augmentation du nombre de mesures :

- une diminution de l'incertitude-type ;
- un élargissement de l'étendue de mesure.

L'histogramme de 2000 mesures montre une certaine dispersion des mesures, avec des « pics » se répétant à intervalles réguliers.

Cette dispersion peut s'expliquer par le fait qu'en réponse à un signal de fréquence 40 kHz qui correspond à la fréquence de résonance du transducteur d'ondes ultrasonores (en émission comme en ré-

ception) ; les régimes transitoires d'établissement de la résonance « prennent une certaine durée » qui correspond typiquement à un nombre de périodes égal au facteur de qualité de la courbe de résonance.

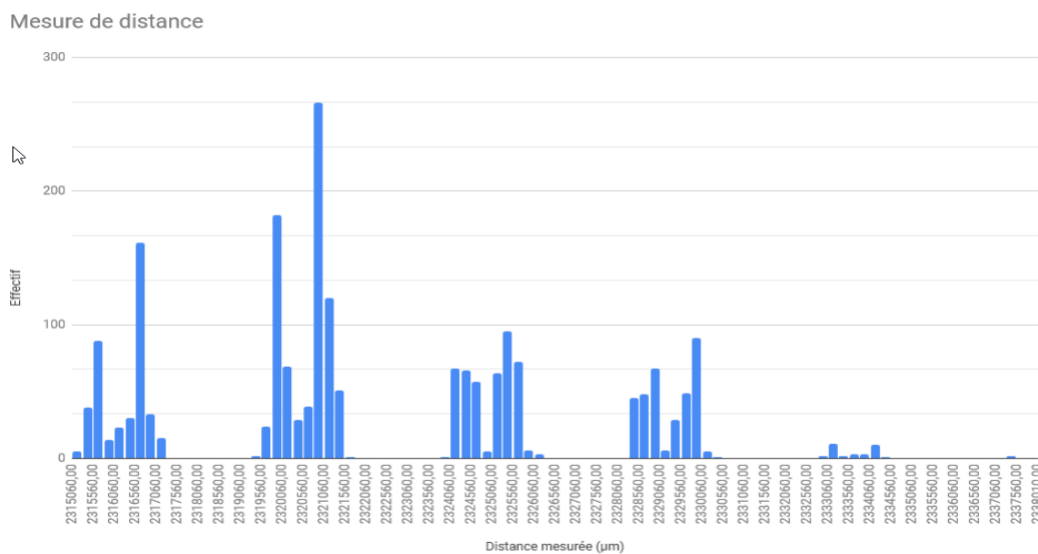
Si l'amplitude du signal reçu par le transducteur est faible, la durée d'établissement du régime transitoire est évidemment toujours la même mais le temps nécessaire pour que le signal détecté atteigne un certain seuil (fixé par le module émetteur-récepteur à ultrasons) n'est pas le même. Ainsi, si la première période de la salve n'a pas permis d'atteindre ce seuil, ce sera la deuxième période qui y parviendra, voire la troisième... On a ainsi, pour une fréquence de 40 kHz, des dates de détection distantes de 1/40 ms soit 25 μ s, ce qui correspond à des écarts de mesure de distance amenant à des « pics ».

Deux autres facteurs entrent en ligne de compte dans la dispersion des mesures :

- la durée du cycle horloge de la carte à microcontrôleur (par exemple, sur la carte utilisé, ce cycle empêche toute mesure dans un intervalle de 4 μ s) ;
- les multiples réflexions, réfractions, diffractions et diffusions sur les différentes surfaces qui, presque comme dans une fibre optique multimode, amènent une dispersion "modale" des mesures – certaines ondes ayant trouvé un chemin court, d'autres un chemin long pour faire le trajet source-obstacle-source.

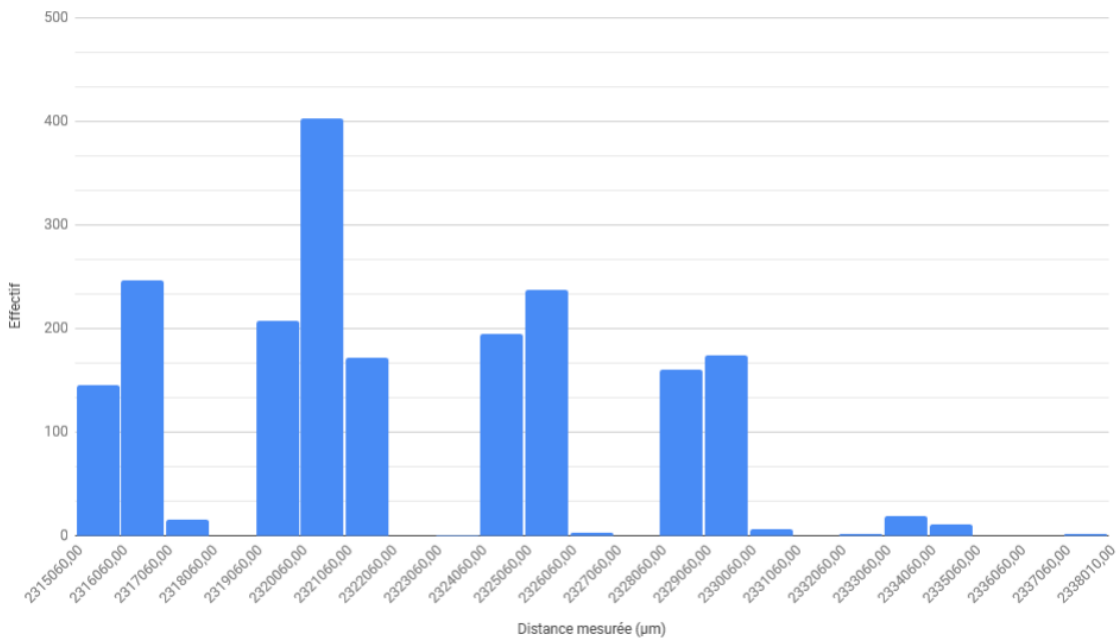
Regroupement par classes

Regroupement par 250 μ m



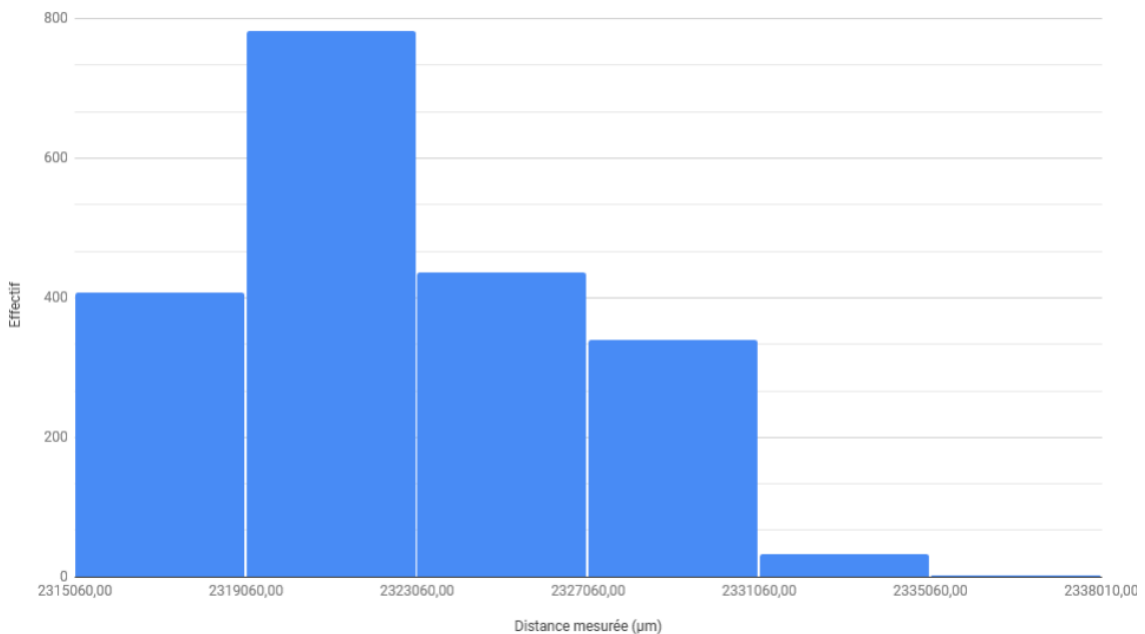
Regroupement par 1 000 μm = 1 mm

Mesure de distance



Regroupement par 4 000 μm = 4 mm

Mesure de distance



Analyse du regroupement par classes

Le regroupement par classes permet de faciliter la lecture de l'histogramme, en donnant une vision globale des mesures, en éliminant la visualisation de valeurs peu fréquentes, mais ce regroupement se fait en perdant des informations. Une discussion peut être menée avec les élèves sur l'intérêt et les inconvénients du regroupement par classes : on peut par exemple noter que les trois histogrammes représentés ci-dessus correspondent rigoureusement aux mêmes données : on montre ainsi la possibilité de représenter différemment la variabilité des mesures. Il est intéressant d'insister sur le fait qu'il n'y a pas de bonne ou de mauvaise représentation : le regroupement par 4 mm montre moins de va-

riabilité, est moins précis, mais permet de dégager le regroupement des données autour d'une valeur principale. Au contraire, le regroupement par 250 μm est une représentation plus fine qui montre plus de variabilité dans les mesures, mais il complexifie la lecture et le traitement qu'on peut en avoir.

À noter

Il existe quelques formules empiriques pour déterminer à l'aveugle le nombre n de classes à partir du nombre N de données. Un choix classique correspond à $n = \sqrt{N}$ (ici, cela correspondrait à un regroupement par 520 μm), mais il existe de nombreuses méthodes différentes et de nombreux critères pour choisir le nombre de classe. L'idée ici est plutôt de simplement approcher avec les élèves la notion de classe à l'aide d'un cas concret, et de discuter autour de ce cas.

La dernière question demande à l'élève de réaliser une synthèse exploitant pleinement l'ensemble des données expérimentales à sa disposition, à l'écrit ou à l'oral. Un exemple typique de synthèse est le suivant :

« À l'aide du dispositif, je réalise 2000 mesures. Je trouve une distance de 2,322 m avec une incertitude-type de 1×10^{-4} m.

La valeur de référence mesurée à l'aide d'un télémètre donne 2,320 m. La méthode utilisant la carte à microcontrôleur donne un résultat compatible avec cette valeur car le résultat donné par cette méthode s'éloigne de l'ordre de grandeur de l'incertitude-type de la valeur de référence.

On peut aussi noter que l'utilisation de la carte à microcontrôleur permet une estimation plus précise que l'utilisation de la règle mais nécessite un équipement plus complexe. »

Annexes

Références au programme de spécialité physique-chimie de la classe de première en voie générale

Ondes mécaniques

Notions et contenus	Capacités exigibles
Célérité d'une onde. Retard.	Exploiter la relation entre la durée de propagation, la distance parcourue par une perturbation et la célérité, notamment pour localiser une source d'onde. <i>Déterminer, par exemple à l'aide d'un microcontrôleur ou d'un smartphone, une distance ou la célérité d'une onde.</i> <i>Illustrer l'influence du milieu sur la célérité d'une onde.</i>

Compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

Compétences	Capacités associées
Analyser/ Raisonner	Choisir, élaborer, justifier un protocole.
Réaliser	Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.).
Valider	Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence. Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	À l'écrit comme à l'oral : <ul style="list-style-type: none">• présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ;• utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés.

Capacités expérimentales

- Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'illustrer la propagation d'une perturbation mécanique.
- Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant de collecter des données sur la propagation d'une perturbation mécanique (vidéo, chronophotographie, etc.).

- Mesurer et traiter un signal au moyen d'une interface de mesure ou d'un microcontrôleur.
- Commander la production d'un signal grâce à un microcontrôleur.

Références au programme de spécialité physique-chimie et mathématiques de la classe de première en voie technologique

Ondes sonores

Notions et contenu	Capacités exigibles / Activités expérimentales
Propriétés, propagation des ondes sonores et ultrasonores. Phénomène de réflexion.	<i>Déterminer des distances à partir de la propagation d'un signal avec ou sans réflexion.</i>