

Thème : Ondes et information

Chapitre : Ondes sonores

Objectifs :

- Énoncer qu'un milieu matériel est nécessaire à la propagation d'une onde sonore ou ultrasonore.
- Déterminer ou mesurer les grandeurs physique associées à une onde sonore ou ultrasonore : célérité, période, amplitude, fréquence et longueur d'onde.
- Citer l'ordre de grandeur de la célérité du son dans l'air.
- Évaluer la célérité du son dans quelques milieux : air, eau, métal.
- Déterminer des distances à partir de la propagation d'un signal avec ou sans réflexion.
- Identifier et citer les deux grandeurs influençant la perception sensorielle d'un son : amplitude et fréquence.
- Associer qualitativement fréquence et amplitude à la hauteur et à l'intensité acoustique d'un son.
- Citer l'ordre de grandeur des limites du domaine de fréquences audibles par l'oreille humaine.
- Exploiter la relation entre la puissance et l'intensité acoustiques.

Sommaire

1. Cours	2	3. Activité 2 : Perception des sons par l'oreille humaine.	6
1.1 Nature du son	2		
1.2 Vitesse de propagation des sons : célérité	2	4. Activité 3 : Caractéristiques d'une onde sonore	7
1.3 Pression acoustique, amplitude et puissance sonore	2		
1.4 Fréquences, période et longueur d'onde .	3	5. Activité 4 : L'acoustique d'un son dépend de sa fréquence et son amplitude.	9
1.5 Acoustique du son	3		
2. Activité 1 : Principe de l'échographie.	4	6. Exercices	10

1. Cours

1.1 Nature du son

Comment est produit un son ?

.....

.....

.....

Pourquoi parle-t-on d'une onde ?

.....

Dans quel milieu le son ne se propage-t-il pas ?

.....

.....

1.2 Vitesse de propagation des sons : célérité

La vitesse de propagation du son est aussi appelé **célérité** du son.
De quoi dépend la vitesse du son dépend ?

.....

.....

▼ Exemples : célérité du son à température ambiante à pression atmosphérique

Quelle est la vitesse du son dans l'air ?

.....

Milieu	Célérité du son (m·s ⁻¹)	Célérité du son (km·h ⁻¹)
Air	343	1 235
Liquide (eau)	1 500	5 400
Solide (aluminium)	6 400	23 040

1.3 Pression acoustique, amplitude et puissance sonore

Que représente la pression acoustique (notée p) ?

.....

.....

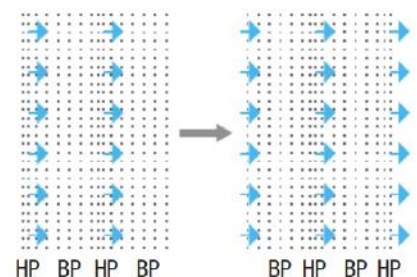
.....

Que représente l'amplitude d'une onde acoustique (notée p_{max}) ?

.....

.....

.....



▲ Aspect microscopique de l'onde sonore
 HP : hautes pressions (les molécules d'air sont plus proches les unes des autres)
 BP : basses pressions (les molécules d'air sont plus éloignées les unes des autres)

Remarque : Plus cette amplitude est grande, plus le son transport de l'énergie.

1.4 Fréquences, période et longueur d'onde

Quelles sont les trois grandeurs caractérisant une onde ?

.....

Donner la relation entre la période (T en seconde) et la fréquence d'une onde (f en Hz) :

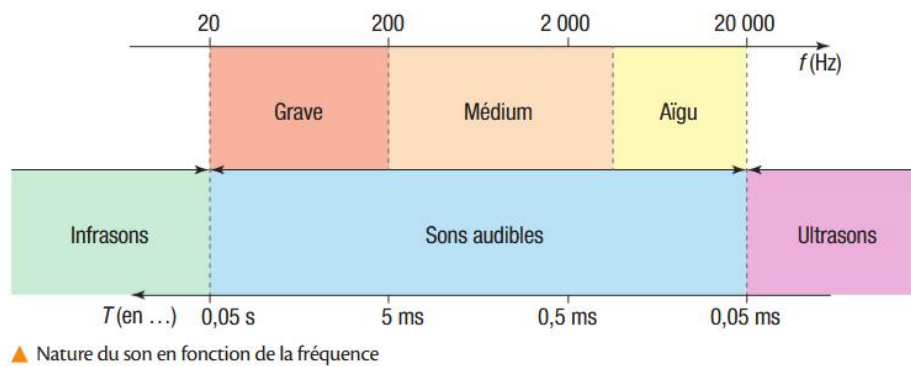
.....

Donner la relation entre la longueur d'onde (λ en m), la fréquence (f en Hz) ou la période (T en s) et la vitesse du son dans le milieu considéré (v en $m.s^{-1}$) :

.....

Dans quelle gamme de fréquence le son est-il audible par l'homme ?

.....



1.5 Acoustique du son

Qu'appelle-t-on puissance acoustique (notée P) ?

.....

Qu'appelle-t-on intensité acoustique (notée I) ?

.....

Quelle est la relation entre P (en W) et I (en $W.m^{-2}$) ?

.....

Exemple : Un haut parleur émet une puissance acoustique $P = 2 W$. Déterminer l'intensité acoustique reçu à $r = 2 m$ du haut-parleur. On prendra $S = 4\pi r^2$.

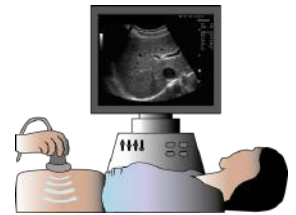
.....

2. Activité 1 : Principe de l'échographie.

Objectif :

- Énoncer qu'un milieu matériel est nécessaire à la propagation d'une onde sonore ou ultrasonore.
- Déterminer ou mesurer les grandeurs physique associées à une onde sonore ou ultrasonore : célérité, période, amplitude, fréquence et longueur d'onde.
- Citer l'ordre de grandeur de la célérité du son dans l'air.
- Déterminer des distances à partir de la propagation d'un signal avec ou sans réflexion.
- Citer l'ordre de grandeur des limites du domaine de fréquences audibles par l'oreille humaine.

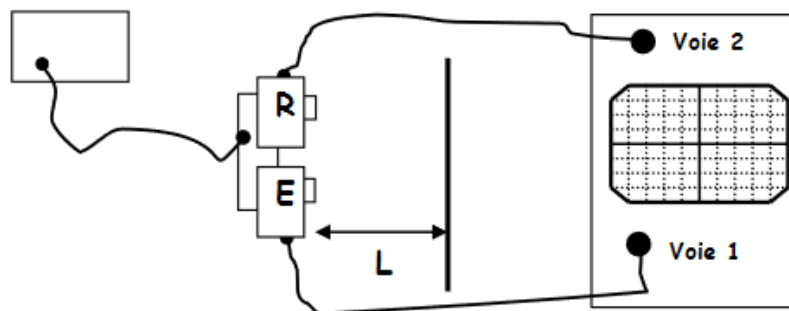
Lorsqu'on réalise une échographie, on utilise un système émetteur/récepteur à ultrasons. Ces ondes ultrasonores pénètrent dans le corps humain, réfléchissent sur le corps du fœtus et reviennent au récepteur. La durée mesurée entre l'émission et la réception de ces signaux permet, à l'aide de l'outil informatique, d'obtenir une image du corps du fœtus.



Comment mesure-t-on la distance séparant l'émetteur-récepteur du bébé ?

Mesure de la célérité des ultrasons dans l'air

1. **Observer** le dispositif suivant ci-dessous. **Le légendier** en utilisant les termes suivants : « émetteur », « récepteur », « générateur de salves d'ultrasons », « oscilloscope », « surface réfléchissante ».



2. À partir du matériel mis à disposition, **reproduire** le dispositif décrit à la question précédente. **Mesurer** la distance L .
3. À partir de l'oscillogramme observé, **indiquer** le signal correspondant à la voie reliée à l'émetteur et celui relié au récepteur.
4. **Estimer** la durée Δt (en ms) qui sépare l'émission de la réception.
5. Quelle est la distance (en m) parcourue par les ultrasons entre l'émetteur E et le récepteur R ?
6. **Rappeler** la formule liant vitesse v , distance parcourue d et durée de parcours Δt . **En déduire** la vitesse des ultrasons dans l'air en $m.s^{-1}$.
7. **Comparer** avec la valeur théorique $v = 340 m.s^{-1}$.
8. À partir du signal observé sur l'écran, **déterminer** la période T et la fréquence du signal f . **En déduire** la valeur de la longueur d'onde λ . On utilisera la relation liant v , T et λ :

$$\lambda = T \times v \quad (1)$$

Du télémètre à l'échographe

9. **Rappeler** les limites des fréquences audibles par l'oreille humaine. **Utiliser** le document ci-dessous et **justifier** que les ondes utilisées en échographie appartiennent bien aux ultrasons.

L'échographie utilise des ondes de fréquence comprises entre 1 et 15 MHz.

La fréquence des ultrasons peut être modulée : augmenter la fréquence permet d'avoir un signal plus précis (et donc une image plus fine) mais l'ultrason est alors rapidement amorti dans l'organisme examiné et ne permet plus d'examiner les structures profondes. En pratique l'échographiste a, à sa disposition, plusieurs sondes avec des fréquences différentes :

- 1,5 à 4,5 MHz en usage courant pour le secteur profond (abdomen et pelvis), avec une définition de l'ordre de quelques millimètres;
- 5 MHz pour les structures intermédiaires (cœur d'enfant par exemple), avec une résolution inférieure au millimètre;
- 7 MHz pour l'exploration des petites structures assez proches de la peau (artères ou veines) avec une résolution proche du dixième de millimètre;
- de 10 à 18 MHz plus par exemple pour l'étude, en recherche, de petits animaux, mais aussi, dans le domaine médical, pour l'imagerie superficielle (visant les structures proches de la peau).

FIGURE 1 – Les fréquences des ondes sonores dans l'échographie.

Répondre aux questions à l'aide de la vidéo suivante : <https://youtu.be/jDHgmEp6WtQ>

10. À quelle condition sur la longueur d'onde d'une onde sonore peut-on avoir réflexion sur un obstacle ?
11. Retrouver, par un calcul en utilisant également la réponse à la question 8, que la longueur d'onde du son de la voix est de l'ordre du mètre.
12. Quels sont les points communs entre un télémètre et un échographe ?
13. Quelle est la principale différence entre un télémètre et un échographe ?

De l'échographe au sonar

Grâce à des sons de fréquences très élevées, qu'on appelle des ultrasons, l'échographie permet de « voir » à travers l'eau et donc à l'intérieur de la matière vivante puisque c'est l'essentiel de sa composition. En effet, l'absorption dans l'eau des ondes ultrasonores est beaucoup moins forte que celle de la lumière ou des ondes radios employés dans les radars. Les origines de cette méthode de visualisation sont à chercher du côté du SONAR (acronyme de « SOund Navigation And Ranging », navigation et localisation par le son), un système destiné à détecter des objets ou obstacles sous la surface de la mer. C'est le physicien français Paul Langevin (1872-1946) qui conçut en 1916-1917 le premier émetteur-récepteur d'ultrasons : il fonctionnait grâce à plusieurs lames de quartz piézoélectriques empilées. Les ravages des sous-marins pendant la Première Guerre mondiale poussèrent les chercheurs à développer dans l'urgence cette technique de détection, dont la nécessité était déjà apparue après la collision dramatique du paquebot Titanic avec un iceberg (1912).

FIGURE 2 – Le SONAR.

14. Qu'est qu'un SONAR ?
15. Quel type de signal utilise-t-il ? Pourquoi ?
16. Pour quelle application était-il utilisé lors de sa création ?
17. Pourquoi aurait-il pu être utile au Titanic ?
18. Le SONAR est beaucoup utilisé par les bateaux de pêches : pourquoi ?

3. Activité 2 : Perception des sons par l'oreille humaine.

Objectif :

- Identifier et citer les deux grandeurs influençant la perception sensorielle d'un son : amplitude et fréquence.

L'oreille ne perçoit pas tous les sons de la même façon. La perception sensorielle dépend :

- du niveau sonore qui s'exprime en décibels (dB) ;
- de la fréquence du son qui s'exprime en hertz (Hz).

FIGURE 1 – La perception du son.

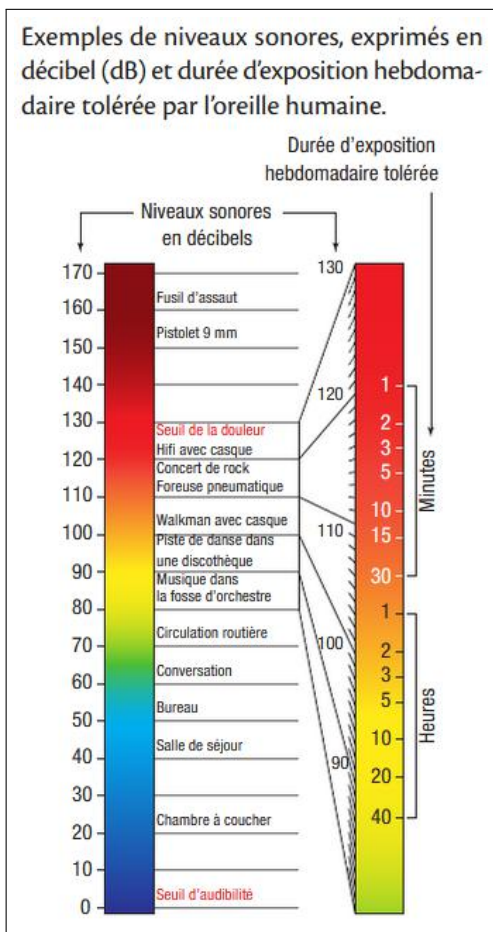


FIGURE 2 – Niveaux sonores.

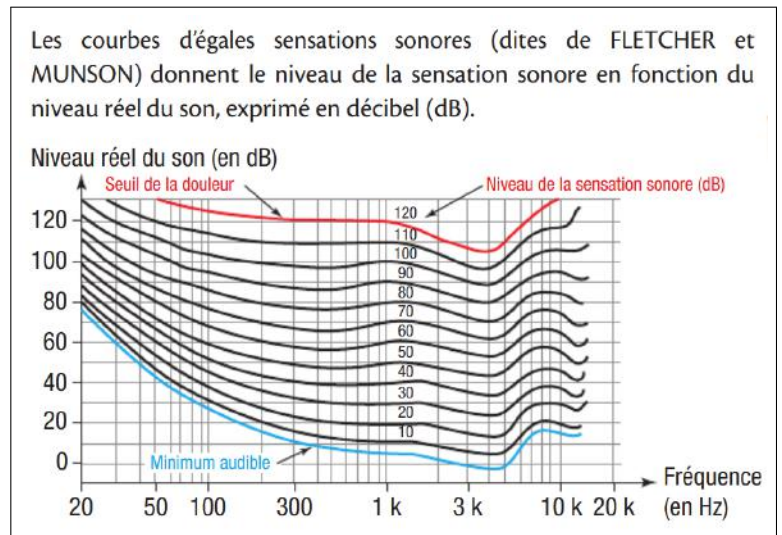


FIGURE 3 – Courbes.

1. À partir de la figure 2, **indiquer** le niveau sonore produite par deux personnes en conversation.
2. (Figure 2) Combien de temps aux maximum peut-on rester à côté d'une enceinte d'un concert de rock émettant à 120 dB ? Quelle mesure de sécurité faut-il adopter pour écouter les trois heures de musiques ?
3. Quel est le niveau sonore minimum pour qu'un son de 40 Hz soit audible ? Même question pour un son de 1000 Hz.
4. Le seuil de douleur correspond à une sensation auditive douloureuse. Quel est le niveau sonore correspondant à 1 kHz ? à 4 kHz ?
5. Un son émis à 80 dB semble valoir 40 dB lorsqu'il est émis à 30 Hz. À quel niveau sonore semble-t-il perçu s'il est émis à 10000 Hz ?

Expliquer pourquoi les sons aigus sont plus dérangeants pour l'oreille humaine que les sons graves.

4. Activité 3 : Caractéristiques d'une onde sonore

Objectif :

- Énoncer qu'un milieu matériel est nécessaire à la propagation d'une onde sonore ou ultrasonore.
- Déterminer ou mesurer les grandeurs physiques associées à une onde sonore ou ultrasonore : célérité, période, amplitude, fréquence et longueur d'onde.
- Citer l'ordre de grandeur de la célérité du son dans l'air.
- Évaluer la célérité du son dans quelques milieux : air, eau, métal.
- Identifier et citer les deux grandeurs influençant la perception sensorielle d'un son : amplitude et fréquence.
- Exploiter la relation entre la puissance et l'intensité acoustiques.

Intensité et puissance acoustique

Sonomètre et niveau d'intensité C'est un sonomètre qui permet de mesurer l'intensité sonore en un point donné. Cet appareil permet de mesurer le niveau de pression acoustique à l'aide d'un simple microphone. Le signal enregistré est ensuite restitué par l'appareil par une valeur en décibel, après différent traitement. Il est fréquemment utilisé par la médecine du travail, ou organisme spécialisé pour évaluer l'environnement sonore au travail et le niveau d'exposition des employés.

FIGURE 1 – Le sonomètre.

On s'intéresse aux caractéristiques de l'oreille quant à ses capacités à discerner la hauteur de deux sons, ainsi que la différence de niveau sonore entre deux sons.

On rappelle que l'intensité d'un son notée I est caractérisée par son niveau sonore noté L . La relation qui relie ces deux paramètres est la suivante :

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (2)$$

Où I_0 est une intensité de référence à savoir l'intensité minimale que peut détecter une oreille humaine normale.

On donne : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$. Le niveau sonore I d'un son est donc en quelques sortes une comparaison par rapport à la référence I_0 .

FIGURE 2 – Relation entre intensité acoustique et niveau acoustique.

La création d'ondes sonores se fait à partir d'une source qui libère une certaine quantité d'énergie. Ramenée à l'unité de temps, cette énergie nous donne la puissance P de la source, exprimée en Watt. Les ondes acoustiques qui en résultent ont une surface qui augmente en s'éloignant de la source (comme les ondes créées par un caillou dans l'eau).

L'intensité acoustique I est l'énergie véhiculée par l'onde par unité de surface.

Lorsqu'on se trouve à proximité d'une source sonore, le son est toujours plus fort que lorsqu'on s'en éloigne. Ce phénomène est dû à la répartition de l'énergie sonore dans l'espace. Pour traduire ce phénomène, on définit une grandeur appelée "Intensité sonore" I :

$$I = \frac{P}{S} \quad (3)$$

Avec I : intensité sonore en W.m^{-2} ; P : Puissance en watt (W) et S : Surface de l'onde acoustique en m^2 .

FIGURE 3 – Intensité et puissance acoustique.

1. On relie le GBF à un oscilloscope et un haut-parleur. **Observer** le signal à l'oscilloscope.
2. **Régler** le GBF sur 300 Hz. **Mesurer** l'amplitude du signal.
3. **Modifier** la fréquence du signal à 3000 Hz. **Mesurer** de nouveau l'amplitude, est-elle modifiée ?

4. À l'aide du bouton level du GBF, **modifier** l'amplitude, que remarquez-vous ? (à l'oreille)
5. On peut mesurer le niveau d'intensité acoustique à l'aide d'un sonomètre.
Placez-vous à 10 cm et **mesurer** le niveau d'intensité acoustique.
6. **En déduire** la valeur de I .
7. **Recalculer** la puissance acoustique du Haut-parleur.

Milieu de propagation

On peut regarder sur Youtube une nouvelle version d'une scène culte du film Interstellar, proposée par un certain Mickaël S. avec le commentaire suivant : « *Apparently the sound designers of Interstellar forgot to put in sound during all the cool space scenes. So I put it in for them...* »

Regarder les deux versions de la scène : <https://youtu.be/XIdi0IxZLIc> et <https://youtu.be/a3lcGnMhvsA>.

8. Quelle version est la plus réaliste ?
9. **Proposer** un montage (classique car déjà vu en seconde ou au collège) avec le matériel du labo qui permette de justifier la réponse précédente. Le **schématiser** et **expliquer** quelles observations on s'attend à voir.

Longueur d'onde d'une onde sonore

Regarder la video suivante : <https://youtu.be/q6KFvpZGxvI?t=30>

10. À l'aide de vos connaissances, **rappeler** comment l'air vibre sous l'effet d'un haut-parleur.
11. **Rappeler** la valeur de la célérité c du son dans l'air (à 25°C).
12. À l'aide de la relation entre la longueur d'onde et la célérité du son dans l'air, **compléter** le tableau suivant :

Fréquence f (Hz)	500	1000	1500	2000	40000
Période T (s)	.. . . . .	.. . . . .	.. . . . .	.. . . . .	.. . . . .
Longueur d'onde λ (m)	.. . . . .	.. . . . .	.. . . . .	.. . . . .	.. . . . .

13. **Donner** la définition de la longueur d'onde d'une onde sonore et **écrire** la formule donnant la relation entre la vitesse, la longueur d'onde et la période d'une onde sonore (et préciser les unités).

Problème

Bob et sa sœur regardent à la télévision la retransmission en direct du concert événement de l'année de leur star préféré. Le public debout dans le stade du Minneapolis (USA) acclame le chanteur. Pendant la pub télé, la sœur de Bob l'interroge...

Qui, du public à l'extrémité du stade ou de nous devant notre télé, perçoit la musique de la scène en premier ?

14. À l'aide des données, du tableau et des hypothèses suivantes, **répondre** précisément à la question posée par la sœur de Bob. **Détailler** la méthode et les calculs.

Données et hypothèses :

- Distance moyenne entre la scène et le public au bout du stade : 350 m. - Distance entre la télé et Bob et sa sœur : 3,5 m.
- Distance approximative entre le lieu du concert américain et la France : 7000 km.
- Le son issu de la scène est capté par des micros sur la scène, traité directement sur place en 1/10ème de seconde et envoyé via satellites partout sur Terre.
- Le signal reçu par les antennes en France est traité et diffusé sur les postes télé en 1/10ème de seconde environ.
- Vitesse des ondes électromagnétiques dans l'air : $3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

5. Activité 4 : L'acoustique d'un son dépend de sa fréquence et son amplitude.

Objectif :

- Identifier et citer les deux grandeurs influençant la perception sensorielle d'un son : amplitude et fréquence.
- Associer qualitativement fréquence et amplitude à la hauteur et à l'intensité acoustique d'un son.

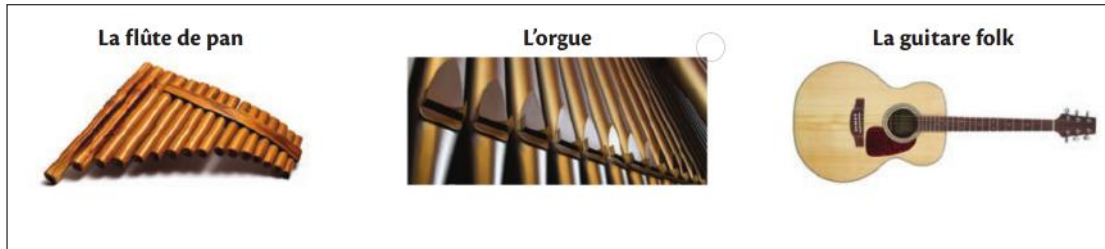


FIGURE 1 – Le son des instruments : flûte de pan (<http://acver.fr/me5>), orgue (<http://lienmini.fr/pc336-1606> et guitare folk (<http://lienmini.fr/pc336-1607>)

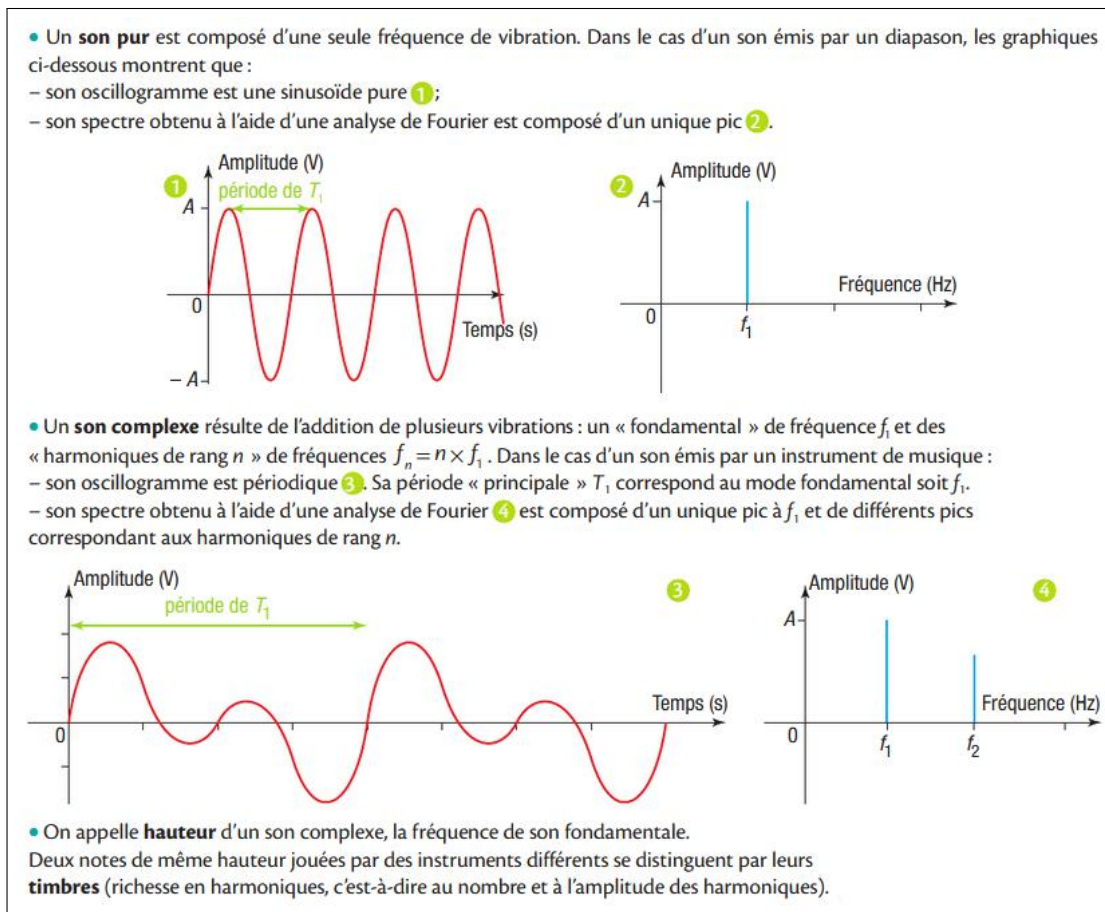


FIGURE 2 – Niveaux sonores

1. **Écouter** les sons des instruments audio à l'aide des liens. À l'oreille, êtes-vous capable de dire si ces trois sons ont la même hauteur ? Vous pouvez vous aider de l'application **phyphox** et de l'outil « Autocorrélation Audio »
2. En supposant qu'ils aient la même hauteur, ont-ils le même timbre ?
3. Ces trois sons ont-ils la même amplitude ? Vous pouvez vous aider de l'application **phyphox** et de l'outil « Intensité sonore ».

6. Exercices

Exercice 1

La célérité du son dans l'air est donnée par la formule :

$$v = \sqrt{\frac{k \times T}{M}} \tag{4}$$

où T est la température absolue de l'air en kelvin et M la masse molaire du gaz qui compose l'air, k étant une constante.

1. La célérité du son diminue-t-elle quand la température augmente ? Et quand la température diminue ?
2. La célérité du son dépend-elle de la fréquence ?
3. Quelle est l'ordre de grandeur de la célérité du son dans l'air à température ambiante ?

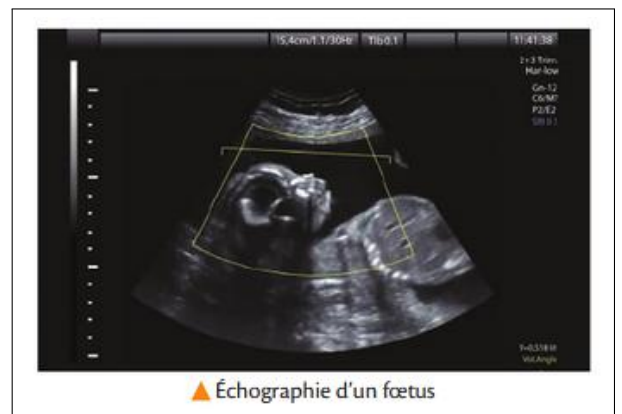
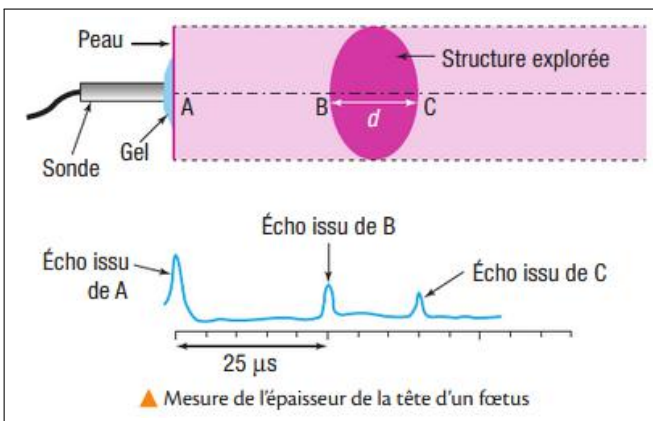
Exercice 2

Une source sonore émet à une puissance de 10^{-5} W.

1. Déterminer l'intensité acoustique à un mètre. On prend $S = 4\pi r^2$, avec r la distance considérée.
2. Même question à deux mètres, puis à trois mètres.
3. Quand on s'éloigne d'une source sonore, l'intensité acoustique diminue-t-elle proportionnellement à la distance ?

Exercice 3

Un gynécologue veut mesurer la taille de la tête d'un fœtus lors d'une échographie. Il utilise des ondes qui se propagent à la vitesse $v = 1,5 \times 10^3$ m.s⁻¹ dans les différentes parties du corps. La sonde émet des ultrasons et réceptionne trois échos provenant des points A, B et C.



1. Justifier que la durée entre l'écho issu de B et celui issu de C est d'environ $t = 1,5 \times 10^{-6}$ s.
2. En déduire l'épaisseur d de la tête du fœtus séparant le point B du point C.

Exercice 4

Un télémètre est un appareil de mesure de longueurs utilisant un faisceau lumineux (laser ou infrarouge) ou d'ultrasons pour calculer des distances.

Les principaux avantages par rapport aux instruments de mesure classiques (mètre ruban, chaîne d'arpenteur, etc.) sont la rapidité et la précision. De plus, le télémètre calcule automatiquement les surfaces et les volumes en multipliant deux ou trois mesures successives.



Caractéristiques
Usage du produit :
 instrument de mesure
Distance mesurée maxi (en m) :
 12
Précision (en cm) :
 + / - 0,5 %
Prix : environ 35 euros

▲ Télémètre à ultrasons STANLEY

Lors d'une mesure de la largeur d'une pièce, le télémètre indique la valeur $L = 4,52 \text{ m}$.

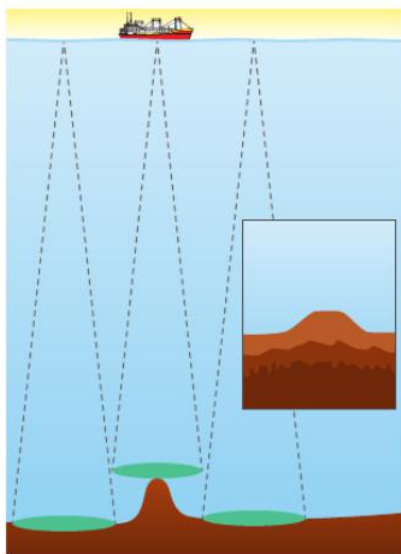
1. En vous appuyant sur la précision indiquée dans le document, **déterminer** la valeur minimale et la valeur maximale de la largeur de la pièce.
2. Le revêtement mural a-t-il une influence sur la mesure ? Si oui, laquelle ?
3. Le mobilier présent dans la pièce a-t-il une influence sur la mesure ? Si oui, laquelle ?

Exercice 5

Le marin a toujours été confronté à deux problèmes : connaître la hauteur d'eau sous la quille de son embarcation et naviguer en sécurité par temps de brume. Le naufrage du Titanic et surtout la menace des sous-marins durant la Première Guerre mondiale marquent la naissance de l'acoustique sous-marine moderne.

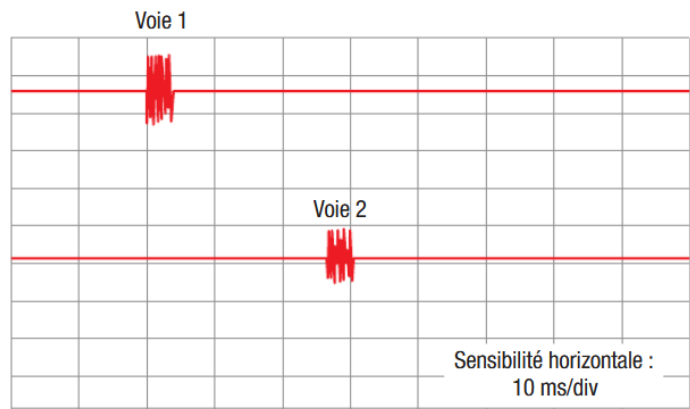


Un sondeur acoustique classique est composé d'une sonde comportant un émetteur et un récepteur d'onde ultrasonore de fréquence $f = 200 \text{ kHz}$ et d'un boîtier de contrôle ayant un écran qui visualise le relief des fonds sous-marins.



▲ Principe d'une sonde acoustique

La sonde envoie des salves d'ultrasons verticalement en direction du fond à des intervalles de temps réguliers. Cette onde ultrasonore se déplace dans l'eau à une vitesse constante $v_{\text{eau}} = 1,50 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Quand elle rencontre un obstacle, une partie de l'onde est réfléchiée et renvoyée vers la source. La détermination du retard Δt séparant l'émission de la salve de la réception de son écho permet de calculer la profondeur p .



La voie 1 représente le signal émis, l'autre le signal reçu par le récepteur. Sur l'oscillogramme, on a décalé la voie 2 vers le bas pour distinguer nettement les deux signaux.

▲ Exemple de détermination de la profondeur sous un bateau

1. **Justifier** l'appellation d'ultrasons pour les ondes utilisées dans une sonde acoustique.
2. **Déterminer** la durée séparant les signaux détectés par la sonde ultrasonore.
3. **Rappeler** la relation reliant la vitesse de propagation, la distance parcourue et la durée de parcours d'une onde. Quelles unités doit-on utiliser dans le système international ?
4. En vous appuyant sur les documents à votre disposition, **déterminer** la profondeur sous le bateau. Vous **expliquerez** votre démarche et **justifierez** vos calculs.