



Activités de la séquence n°10

Des ondes mécaniques à la perception du son



Fiche de synthèse mobilisée :

Fiche n°9 : ondes mécaniques



Sommaire des activités

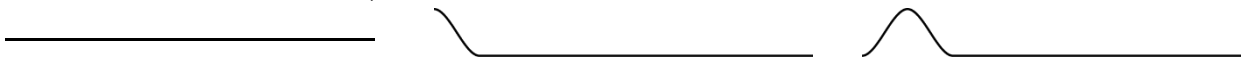
ACTIVITÉ 1 :	l'onde mécanique, un modèle pour des situation très diverses	1
ACTIVITÉ 2 :	mesure de la célérité des ondes sonores	3
ACTIVITÉ 3 :	mesure de la célérité des ondes sonores avec un microcontrôleur	4
ACTIVITÉ 4 :	le radar de recul – réalisation d'une maquette utilisant un microcontrôleur	5
ACTIVITÉ 5 :	les ondes périodiques à la surface de l'eau	6
ACTIVITÉ 6 :	mesure de la longueur d'onde des ultrasons	7
ACTIVITÉ 7 :	notre perception des sons	8

ACTIVITÉ 1 : l'onde mécanique, un modèle pour des situation très diverses

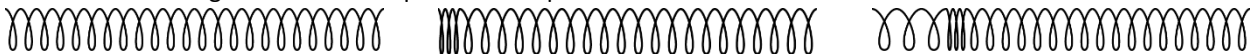
1^{ère} partie : vers une définition des ondes mécaniques

Des très nombreuses situations sont décrites par les physiciens comme étant des ondes mécaniques. On propose X situations, que l'on modéliser comme des ondes mécaniques, réalisées dans le classe :

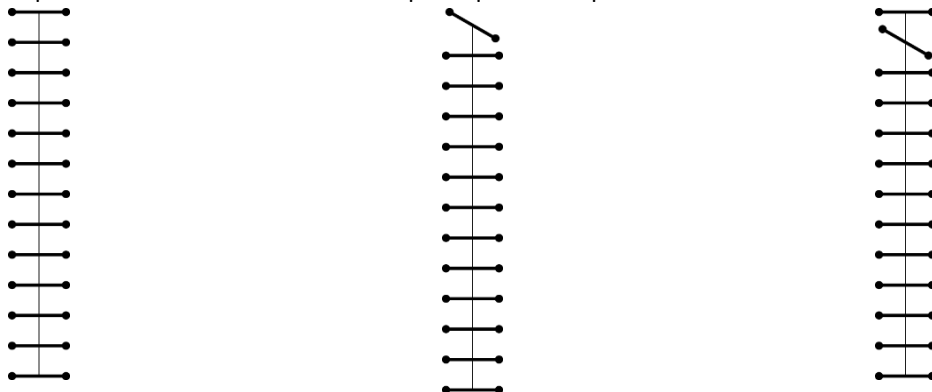
- **Situation 1** : une corde d'escalade, tendue est soulevée à l'une de ses extrémités.



- **Situation 2** : un long ressort est brusquement comprimé à l'une de ses extrémités.



- **Situation 3** : le premier élément d'une échelle de perroquet est déplacé horizontalement.



1. Chaque situation est illustrée par trois schémas qui figurent l'état du milieu à intervalles de temps réguliers ; le premier représente le milieu avant qu'il ne soit perturbé. Reproduire ces schémas et, pour chaque situation, dessiner les trois suivants pour compléter la série.



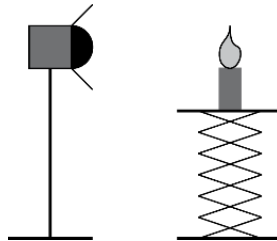
2. Dans ces trois situations, peut-on dire que le milieu :
 - a été mis en mouvement ?
 - s'est globalement déplacé ?
 - a été modifié par le passage de l'onde ?
3. Dédurre des observations et de la réponse précédente une définition de l'onde mécanique.
4. Lire dans la fiche de synthèse la définition des ondes mécaniques transversales et des ondes mécaniques longitudinales. Qualifier de transversale ou de longitudinale chacune des trois ondes mises en œuvre dans cette partie.

2^{ème} partie : le cas des ondes sonores

5. Afin de comprendre ce qu'est « le son », on va réaliser l'expérience décrite ci-dessous. À votre avis, que va-t-on observer lorsque le haut-parleur sera mis sous tension ?

Expérience :

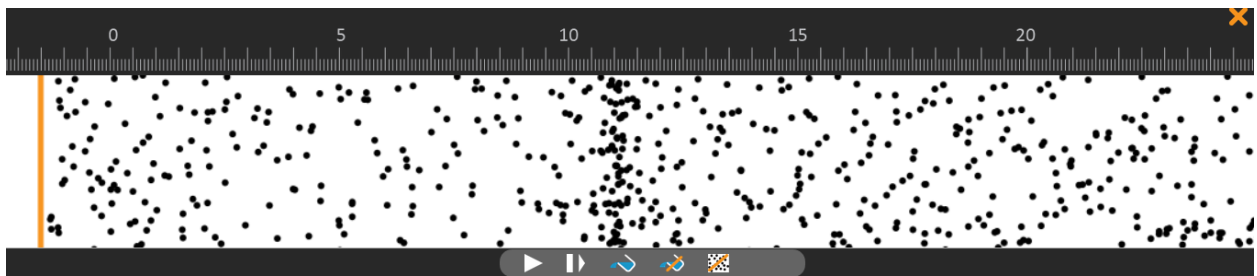
Une bougie est allumée devant un haut-parleur. Celui-ci est alimenté par un GBF réglé au maximum de sa puissance.



6. Noter ce que l'on observe et corriger si besoin la réponse précédente.
7. En quoi cette expérience illustre-t-elle bien le fait que la perturbation se propage sans transport de matière ?
8. S'agit-il d'une onde transversale ou longitudinale ? Exploiter le résultat de l'expérience pour répondre.

Utilisation d'un simulateur

La figure suivante est une copie d'écran du logiciel [simulaSON](#), qui illustre le modèle microscopique de la propagation du son.



Ouvrir le simulateur et activer le mode « onde solitaire ».

9. Après avoir déclenché le vibreur, observer la propagation de la perturbation. Vérifier que cette simulation est bien en accord avec la réponse à la question 8.
10. Le logiciel permet de colorer en bleu une « tranche » du milieu afin de mieux voir son mouvement. Réaliser cette opération et déclencher à nouveau le vibreur. Quelle propriété des ondes mécaniques cette observation permet-elle d'illustrer ?



ACTIVITÉ 2 : mesure de la célérité des ondes sonores

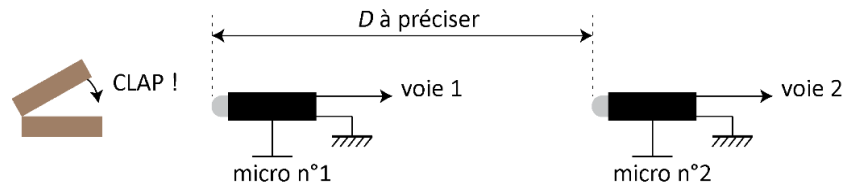
L'objectif de l'activité est de mesurer ce que l'on appelle communément la « vitesse du son », c'est-à-dire la célérité des ondes sonores dans l'air, puis d'analyser la précision du résultat obtenu.

1^{ère} partie : réalisation de la mesure

Présentation du matériel : on dispose de micros, qu'il est possible de brancher aux bornes d'une carte d'acquisition, elle-même connectée à un ordinateur muni d'un logiciel de traitement adapté (*Latis Pro, Regressi...*).

On dispose également de deux morceaux de bois permettant de générer un « clap » sonore.

Le logiciel permet de programmer un déclenchement sur l'un des micros et d'enregistrer, pendant une durée donnée (à régler), l'évolution temporelle des signaux reçus.



1. À votre avis, comment doit-on choisir la distance D pour effectuer la mesure la plus précise possible ?
2. Réaliser le montage ci-dessus et régler les paramètres de l'acquisition :
 - nombre de points : 1000
 - durée totale : 6,0 ms
 - déclenchement de l'acquisition sur la voie 1 (le seuil pourra être ajusté par la suite)
 - le logiciel utilisé doit représenter en fonction du temps les deux signaux acquis.
3. Réaliser une acquisition. Si celle-ci se déclenche avant le clap, augmenter un peu le seuil de déclenchement. Si, au contraire, le clap ne suffit pas, abaisser celui-ci.
4. Lorsque l'acquisition est satisfaisante :
 - Déterminer la valeur du retard avec lequel la perturbation atteint le second micro.
 - En déduire une valeur de la célérité v des ondes sonores dans l'air en détaillant le calcul.

2^{ème} partie : sources d'erreur de la mesure

5. Pourquoi tous les binômes du groupe ne trouvent-ils pas le même résultat ? Identifier au moins deux raisons.
6. Si un binôme revient cette nuit dans la salle de TP pour refaire sa mesure en utilisant exactement le même matériel et le manipulant exactement de la même manière, trouvera-t-il forcément le même résultat ? Pourquoi ? Une explication possible est suggérée dans le document ci-après.
7. Résumer les réponses aux questions 5 et 6 afin de dresser la liste des sources d'erreur de notre mesure.

DOCUMENT : célérité des ondes sonores dans un gaz

Dans un gaz diatomique (constitué de molécules à deux atomes), la célérité des ondes sonores peut être calculée à l'aide de la relation théorique :

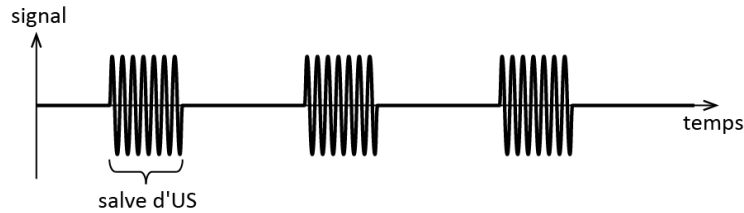
$$v = \sqrt{\frac{7 RT}{5 M}}$$

T étant la température (absolue, exprimée en K) du gaz et M sa masse molaire.



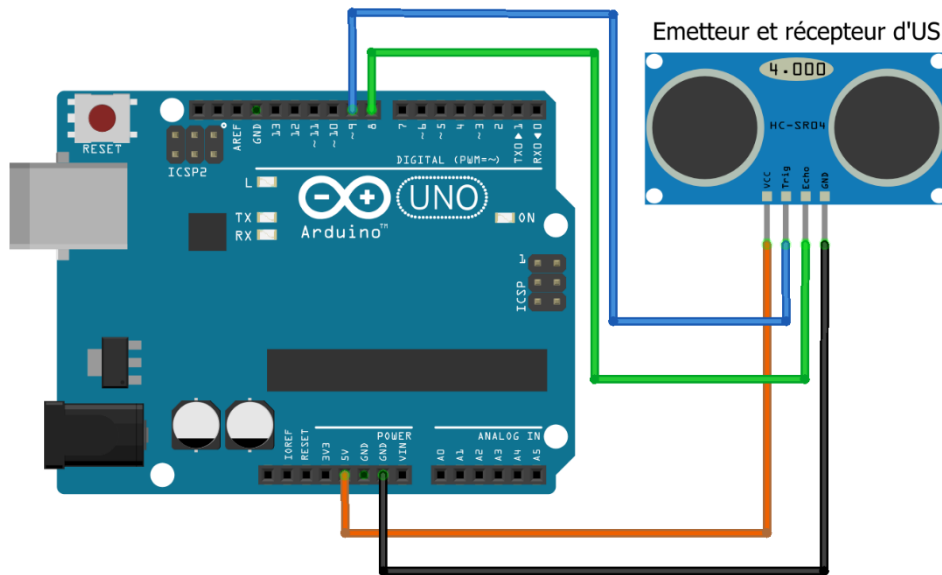
ACTIVITÉ 3 : mesure de la célérité des ondes sonores avec un microcontrôleur

On souhaite réaliser un montage à l'aide d'un microcontrôleur qui permette de mesurer la célérité des ondes ultrasonores dans l'air. Le capteur utilisé est l'association d'un émetteur et d'un récepteur de salves d'ultrasons. Voici ce que l'on appelle des salves :



Manipulation :

- Réaliser le montage présenté ci-dessous :



- Connecter le microcontrôleur à l'ordinateur et ouvrir le fichier « Mesure_v_son.ino »
- Téléverser le programme dans le microcontrôleur, et, dans le menu « outils », ouvrir le moniteur série : c'est la fenêtre où s'affichent les valeurs enregistrées par le microcontrôleur ainsi programmé.

Compréhension du programme, du phénomène exploité et premiers tests

1. D'après le code du programme utilisé : laquelle des broches du capteur déclenche l'émission d'une salve d'ultrason ? Laquelle témoigne de la réception d'une salve d'ultrasons ?
2. D'après le code du programme : que vaut la durée d'une salve ? Quelle durée sépare deux salves successives ?
3. Placer le dispositif dans une situation où le message « Aucun signal reçu ! » s'affiche. Le placer ensuite dans une situation où une mesure de durée est effectuée. Décrire ces deux situations.
4. Quel phénomène explique que des ultrasons soient reçus par le capteur utilisé ? Exploiter les observations précédentes pour répondre.
5. En déduire une méthode permettant d'utiliser ce montage pour réaliser une mesure de la célérité des ondes ultrasonores dans l'air. Les mesures à effectuer et la relation à utiliser seront clairement indiquées. Un schéma illustrant le trajet de la perturbation ultrasonore est attendu.

Mesure de la célérité des ondes sonores dans l'air

6. Réaliser l'expérience décrite à la question 5, noter les valeurs et calculs effectués pour déterminer la valeur de la célérité des ondes sonores dans l'air.



ACTIVITÉ 4 : le radar de recul – réalisation d'une maquette utilisant un microcontrôleur

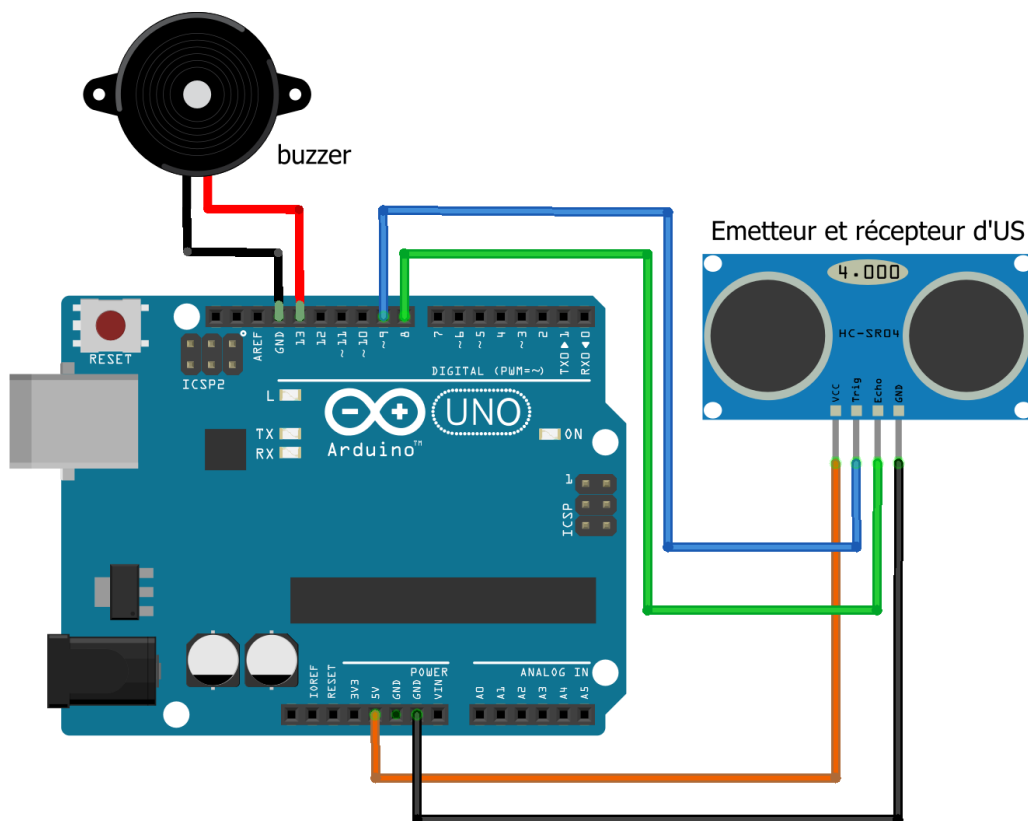
La mesure du temps de propagation d'une onde entre sa source et un récepteur est une des méthodes couramment employées pour mesurer des distances. C'est par exemple le cas des radars de recul qui équipent les voitures récentes.



Le principe est simple : le radar émet une salve d'ultrasons et, si un obstacle réfléchit cette salve, calcule la durée écoulée entre l'émission et la réception. Si celle-ci franchit un seuil donné, cela indique que l'obstacle est assez proche pour faire courir un risque à la carrosserie de la voiture et déclenche un signal sonore. Cette activité propose de réaliser, comprendre et exploiter une maquette de radar de recul.

Réalisation de la maquette

- Compléter le montage de l'activité 3 en connectant un buzzer entre les bornes 13 et « GND » de la carte.



- Connecter le microcontrôleur à l'ordinateur et ouvrir le fichier « Radar_simple.ino ».
- Téléverser le programme dans le microcontrôleur et tester son fonctionnement en plaçant une plaque métallique à différentes distances du couple émetteur / récepteur.

Compréhension du programme

Répondre aux questions 1 à 6 en utilisant le code du programme téléversé.

1. Quelle est la durée d'une salve d'ultrasons ? Quelle durée sépare deux slaves successives ?



2. Que vaut la distance à partir de laquelle le buzzer est déclenché ? Modifier la valeur de cette distance (par exemple : 10cm) et tester le bon fonctionnement de cette modification.
3. Recopier la ligne de code permettant de calcul de la distance radar – obstacle. Le but des questions qui suivent est de comprendre cette ligne de code.
4. Faire un schéma représentant : l'émetteur et le récepteur côte à côte, l'obstacle réfléchissant et le trajet effectué par une salve d'ultrasons.
5. Écrire une relation littérale entre : la distance D radar-obstacle, la durée τ entre émission et réception et la célérité v_{US} des ondes ultrasonores dans l'air.
6. Exploitant vos connaissances sur les ondes sonores et ultrasonores, vérifier que la ligne recopiée à la question 3 permet bien le calcul de la distance D en centimètres.

Amélioration de la maquette

On souhaite à présent améliorer la maquette pour que son comportement se rapproche d'un radar de recul réel. On souhaite notamment que :

- si la distance radar – obstacle est inférieure à 5 cm le buzzer sonne en continu ;
 - si la distance radar – obstacle est comprise entre 5 cm et 50 cm, le buzzer émette des « bips » d'autant plus resserrés que l'obstacle est proche ;
 - si la distance radar – obstacle excède 50 cm, le buzzer s'éteigne.
7. Modifier le code du programme pour atteindre cet objectif et tester son bon fonctionnement. On pourra utiliser le complément ci-dessous, à propos de l'instruction « tone » du langage de programmation utilisé.



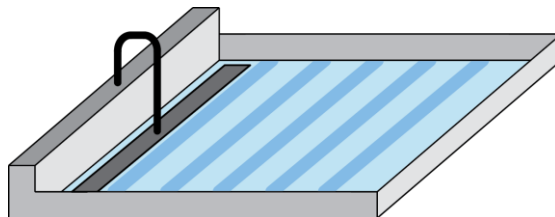
INSTRUCTION pour alimenter une broche de la carte

Syntaxe : `tone(N, f, t);`

- N est le numéro de la broche à alimenter ;
- f est la fréquence du signal sinusoïdal généré
- t est la durée pendant laquelle le signal est généré (exprimée en ms).

ACTIVITÉ 5 : les ondes périodiques à la surface de l'eau

On utilise dans cette activité une cuve à ondes, dont le fonctionnement est décrit dans [la vidéo en ligne](#) sur le site des collections numériques. Un segment de longueur connue est tracé au fond de la cuve et une vibration temporellement périodique est créée par une tige à la surface de l'eau :



1. La cuve étant en fonctionnement devant vous, proposer une méthode expérimentale permettant de déterminer, avec une précision acceptable, la durée qui sépare le passage de deux vagues consécutives dans le milieu : cette durée est la période temporelle de l'onde (que l'on appellera souvent « période » tout court).
2. Lorsqu'une onde périodique a envahi son milieu de propagation, on définit aussi une période spatiale, appelée longueur d'onde et notée λ : c'est, à un instant donné, la plus petite distance séparant deux points du milieu atteint par la même perturbation. Afin de mesurer la longueur d'onde, que faut-il faire ? Plusieurs solutions sont envisageables.
3. Procéder à la mesure de la longueur d'onde.
4. Pourquoi dit-on que les ondes périodiques possèdent une « double périodicité » ?



ACTIVITÉ 6 : mesure de la longueur d'onde des ultrasons

Objectif : mesurer la fréquence et la longueur d'onde d'une onde sonore et en déduire la valeur de sa célérité par le calcul.



Pour mieux comprendre la situation expérimentale on utilisera le logiciel *simulaSON*. Il s'agit d'un simulateur qui anime un modèle microscopique du son dans un tuyau sonore.

1^{ère} partie : mesure de la fréquence des ultrasons

Expérience :

- Alimenter un émetteur d'ultrasons, noté E. Poser, face à E, un récepteur (noté RA sur la figure ci-dessous) branché aux bornes d'un système d'acquisition.



- Les paramètres d'acquisitions sont les suivants :
 - durée totale : 250 μ s ;
 - 500 points de mesure.
- Réaliser une acquisition.

Exploitation :

1. Utiliser le résultat de l'acquisition pour réaliser la mesure la plus précise possible de la période de l'onde ultrasonore enregistrée.
2. En déduire la valeur de sa fréquence. En quoi ce résultat permet-il d'interpréter le fait qu'on n'entende rien ?

2^{ème} partie : mesure de la longueur d'onde des ultrasons

Expérience :

- Reprendre l'expérience précédente, brancher un deuxième récepteur (noté RB) sur la carte d'acquisition utilisée et le placer derrière RA.



- Positionner le récepteur B afin que les signaux reçus par A et B soient **en phase** (c'est-à-dire que les maxima et les minima soient simultanés).
- Déplacer très lentement le récepteur B et observer l'effet produit à l'écran.

Exploitation et mesure de λ :

3. On se demande dans cette partie à quelle condition sur la position relative de A et B les signaux reçus sont en phase. Pour le comprendre, on va utiliser le logiciel *simulaSON*.

 **Aide pour répondre à la question 3 :**

- Avec *simulaSON*, simuler une onde sonore de fréquence 1,5 Hz, afficher le modèle microscopique ainsi que la fenêtre « acquisition temporelle ».
- Activer les deux capteurs et observer l'évolution temporelle des signaux acquis.
- Placer les capteurs afin que les signaux reçus soient en phase. Rechercher plusieurs positions permettant de mettre en phase les signaux et déterminer leur point commun.

Conclusion de la simulation : à quelle condition sur la distance entre les deux capteurs les signaux acquis sont-ils en phase ?

4. Exploiter la réponse à la question précédente pour mesurer la longueur d'onde des ondes ultrasonores (réelles) émises par le dispositif utilisé.

Amélioration de la précision de la mesure :

5. On admet que toute valeur de distance mesurée avec notre matériel est déterminée à 1mm près. Déduire de cette information la valeur de l'incertitude $u(\lambda)$ associée à la mesure précédente et en déduire le résultat sous la forme : $\lambda = (... \pm \dots)$. Commenter ce résultat.
6. On peut aisément diviser par 10 l'incertitude sur la mesure de λ : comment ?
7. Procéder à une nouvelle mesure et noter le résultat sous la forme : $\lambda_{\text{mes}} = ... \pm ...$ (unité)



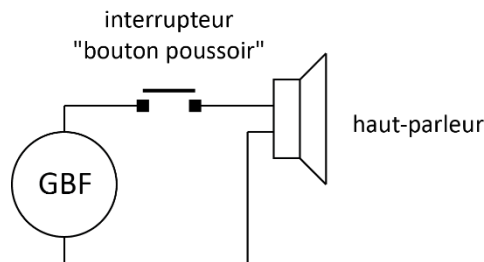
3^{ème} partie : comparaison de la valeur mesurée à une valeur calculée

- On admet que la célérité des ondes ultrasonores, dans les conditions de l'expérience, vaut $v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Déduire de la valeur de la fréquence et de celle de la célérité une valeur calculée de la longueur d'onde, notée λ_{calc} .
- On admet que la valeur calculée a une incertitude beaucoup plus faible que celle que nous avons obtenue à la question 7. Ces deux valeurs sont-elles compatibles ?

ACTIVITÉ 7 : notre perception des sons

1^{ère} partie : sons graves, sons aigus

Réaliser le montage suivant :



- Réaliser et exploiter ce montage pour déterminer quelle est la grandeur physique dont la valeur a une influence sur la hauteur du son que l'on perçoit. On appelle « hauteur d'un son » son caractère plus ou moins aigu. On indiquera qualitativement comment la valeur de cette grandeur influe sur la hauteur.
- Les fréquences des notes de la gamme tempérée sont données dans le tableau ci-après. Chaque binôme règle son dispositif afin que celui-ci produise une des notes de cette gamme. Lorsque tous les binômes ont réalisé leur réglage, on pourra jouer la gamme (ou bien une mélodie) dans la salle de classe.

Note	Do ₄	Ré ₄	Mi ₄	Fa ₄	Sol ₄	La ₄	Si ₄	Do ₅
f (Hz)	523	587	659	698	784	880	988	1046

2^{ème} partie : le « volume sonore » et le risque pour l'audition

Notre sensation de « volume sonore » est liée à l'amplitude de l'onde sonore reçue mais ne lui est pas proportionnelle. La grandeur qui décrit ce l'on perçoit s'appelle le niveau sonore et se mesure en décibels (dB) avec un sonomètre.

- Avec le sonomètre dont on dispose, relever le niveau sonore ambiant dans ces trois situations :
 - toute la classe respecte le plus grand silence ;
 - les élèves manipulent leurs feuilles sans bavarder ;
 - tout le monde bavarde.
- À l'aide du sonomètre et du montage utilisé dans la partie précédente, réaliser une expérience permettant de mettre en évidence le lien qualitatif entre le niveau sonore reçu et la distance source – récepteur. L'expérience réalisée sera succinctement décrite et les mesures réalisées seront consignées.
- Montrer que les conclusions de la question précédente permettent d'expliquer le message de cette affiche :

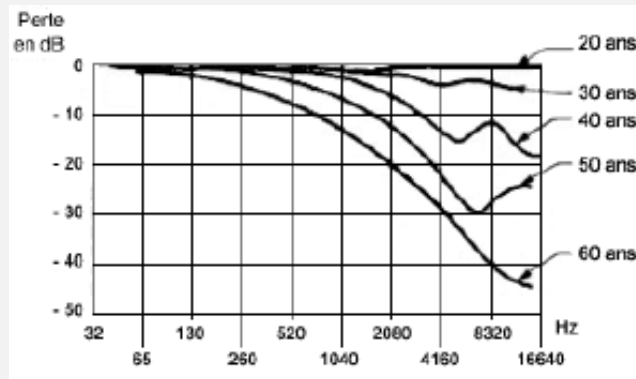




Les documents 1 et 2 ci-dessous s'appellent des audiogrammes.

6. Que représente, dans un audiogramme, l'axe des abscisses ? L'axe des ordonnées ?
7. Quels sont les sons dont l'audition est affectée par le vieillissement de nos tympans ? Exploiter le document 1 pour répondre.
8. Le document 2 reproduit les audiogrammes de deux patients suite à leurs passages chez l'ORL. Quel est celui dont l'audition est « bonne » ? Quel(s) défaut(s) d'audition présente l'autre patient ?

DOCUMENT 1 : évolution de l'audiogramme avec l'âge



DOCUMENT 2 : audiogrammes de deux patients

