

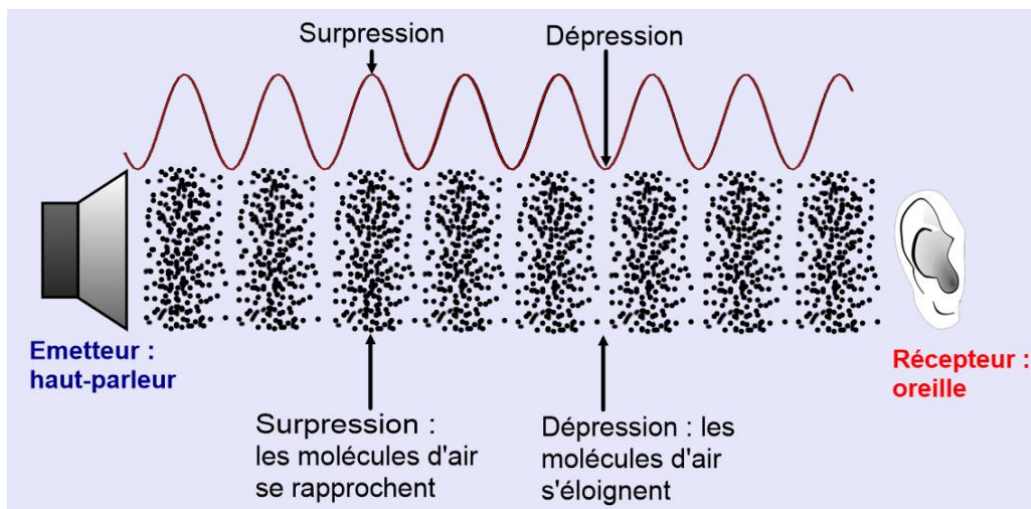
# Le son

## 1) Le phénomène

Le phénomène son se révèle à l'oreille humaine. Il peut être généré par un objet que l'on fait entrer en vibration comme une cloche d'église, une corde de guitare, un diapason, la membrane d'un haut-parleur.

Le son est un **phénomène qui se propage**. On perçoit le son émis par une source sonore comme un instrument de musique à plusieurs de dizaine voire centaines de mètres de l'instrument. Le son est donc une onde.

Un micro est une membrane qui convertit son mouvement en courant électrique. Lorsque cette membrane est touchée par un son, un tel courant électrique variable et alternatif (qui prend alternativement des valeurs positives et négatives dans le temps) apparaît. C'est donc que le son peut mettre en vibration une membrane souple. Or la seule chose qui puisse agir sur la membrane pour la mettre en mouvement est l'air dans lequel elle baigne et l'air ne peut exercer que des forces de pression sur une surface. C'est donc que le son est une onde qui transmet dans l'espace environnant une **modification de la pression de l'air** par rapport à la pression ambiante en créant alternativement des surpressions et des dépressions. Voilà ce que cela donne dans une « photographie » instantanée pour un son pur (voir définition plus loin) :

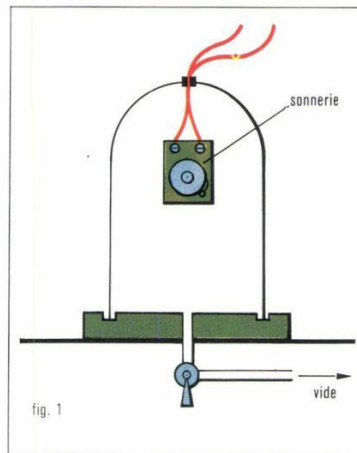


Si le son semble avoir besoin d'un milieu pour se propager, une expérience simple permet de le vérifier

### Expérience :

On place sous une cloche en verre une source sonore qui émet un son continu. La cloche est reliée à une pompe à vide. Lorsqu'il y a de l'air sous la cloche on entend distinctement le son de la source

mais au fur et à mesure qu'on y fait le vide, le son diminue d'intensité pour l'observateur extérieur jusqu'à disparaître quasi totalement, car la pompe ne permet pas de faire un vide total.



Conclusion de l'expérience : **Le son ne peut pas se propager dans le vide.**

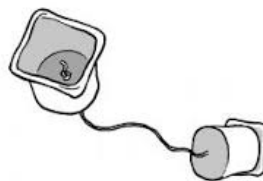
Remarque : La lumière se propage quant à elle dans le vide car la source sonore y reste visible pour l'observateur extérieur même une fois un vide poussé fait.

## 2) Définition du son

**Le son est une perturbation de la pression d'un milieu gazeux ou liquide (comme l'air ou l'eau) qui se propage. On parle d'onde acoustique.**

Le son peut interagir avec des milieux solides comme une corde de guitare par exemple. La variation de pression de l'air au niveau de la corde met cette dernière en vibration, et génère dans la corde des ondes mécaniques. L'expérience des pots de yoghurt traduit ce phénomène :

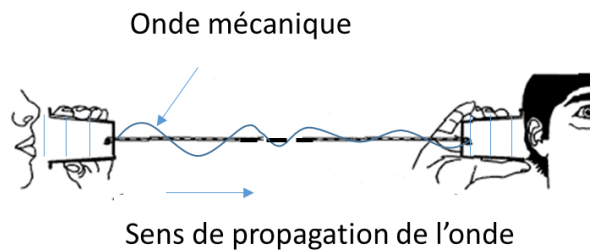
Expérience :



Deux pots de yoghurt sont reliés par une ficelle de plusieurs mètres selon le schéma. Si un expérimentateur parle dans un pot en maintenant la ficelle tendue, un autre reçoit distinctement le son correspondant en collant son oreille dans l'autre pot.

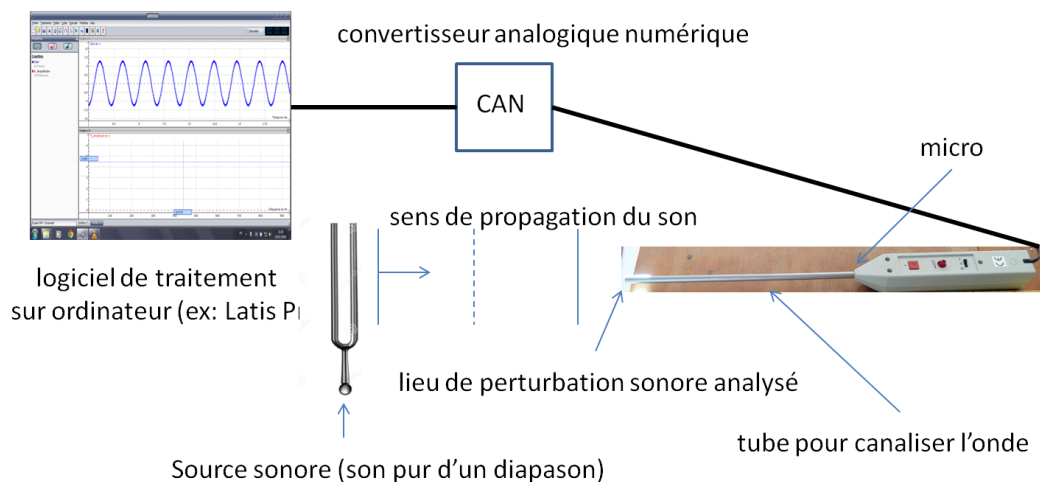
### Interprétation de l'expérience :

Le pot dans lequel parle le premier expérimentateur canalise les ondes sonores qui mettent en vibration la ficelle (on peut d'ailleurs ressentir ces vibrations en touchant d'un doigt la ficelle). La vibration se propage dans la ficelle sous forme d'onde mécanique (déplacement transversal de la corde), jusqu'à atteindre le pot récepteur qu'elle met en vibration et ce dernier à son tour génère à l'intérieur du pot récepteur des ondes sonores qui sont canalisées jusqu'à l'oreille du second expérimentateur.



### 3) Analyse d'un son

Pour analyser un son, on utilise de façon moderne un dispositif constitué d'un micro, d'un convertisseur analogique numérique et d'un ordinateur. Autrefois, un simple oscilloscope relié à un micro aurait fait l'affaire.



### 4) Type de sons

Il existe deux types de sons : les sons purs et les sons complexes.

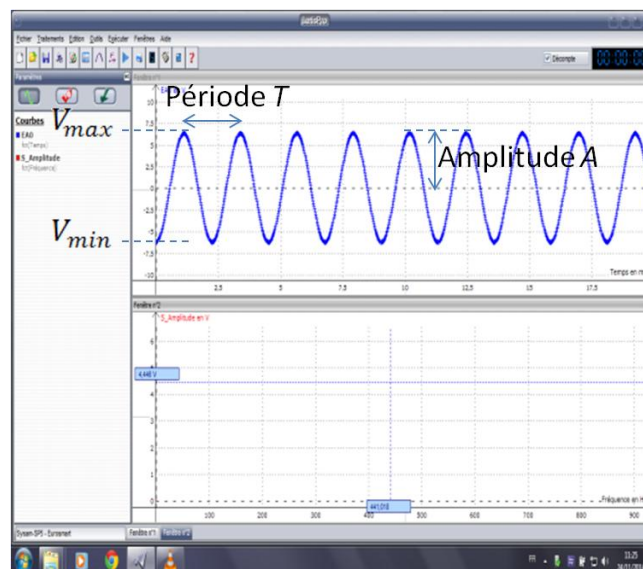
## a) Les sons purs – période- fréquence

### Génération :

Un son pur peut être généré par un objet généralement métallique que l'on met en vibration, souvent par un choc, comme un diapason ou bien une simple lame de métal fixée à un support. En réalité, l'objet vibre selon une superposition de modes « purs » sinusoïdaux caractérisés chacun par une fréquence mais seule une de ces fréquences (la fondamentale) est dans le domaine d'audibilité de l'oreille humaine) ou bien seul un des modes a une amplitude de vibration nettement plus importante que les autres

### Analyse

L'analyse d'un son pur fait apparaître un type de courbe appelée **sinusoïde** :



### Caractérisation

Une courbe sinusoïdale, où le temps figure en abscisse est caractérisée par une **amplitude** et une **période** ou bien une **fréquence**.

**Amplitude A** : Elle est égale à la moitié de l'écart entre la plus forte valeur de tension  $V_{max}$  (valeur atteinte en un sommet de la courbe) et la plus faible  $V_{min}$  (valeur atteinte en un creux) soit :

$$A = \frac{V_{max} - V_{min}}{2}$$

Ex : Pour  $V_{max} = 1,5 V$ ,  $V_{min} = -1,5 V$  (attention au signe de  $V_{min}$ ) :

$$A = \frac{1,5 - (-1,5)}{2} = 1,5 V$$

**Période  $T$**  : Elle est égale à l'écart de temps entre deux pics consécutifs

**Fréquence  $f$**  : Elle est égale au nombre de périodes contenues dans une seconde et se calcule donc par la formule :

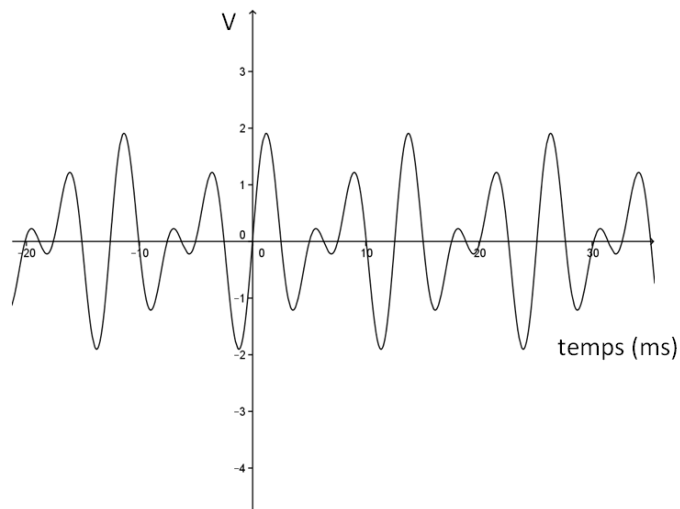
$$f = \frac{1}{T}$$

Formule dans laquelle  $T$  est exprimée en secondes,  $f$  étant alors en Hertz (Hz).

**Exemple** : Pour le son créé par un diapason, la fréquence est de 440 Hz, ce qui signifie que le tympan d'une oreille réceptrice de ce son effectue 440 allers et retours par seconde

### b) **Les sons complexes- le bruit**

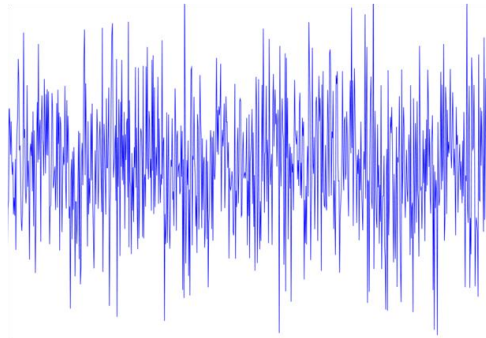
Si nous mettons deux lames métalliques de longueurs différentes en vibration, et un micro devant, l'analyse du son nous donnera une courbe de la forme suivante :



Ce n'est pas une courbe sinusoïdale mais la somme de deux courbes qui le sont.

**Un son complexe, c'est-à-dire un son qui n'est pas pur, est la superposition de sons purs.**

Un bruit est un son complexe formé de la superposition d'un très grand nombre de sons purs. Voilà l'allure du signal associé à un bruit :

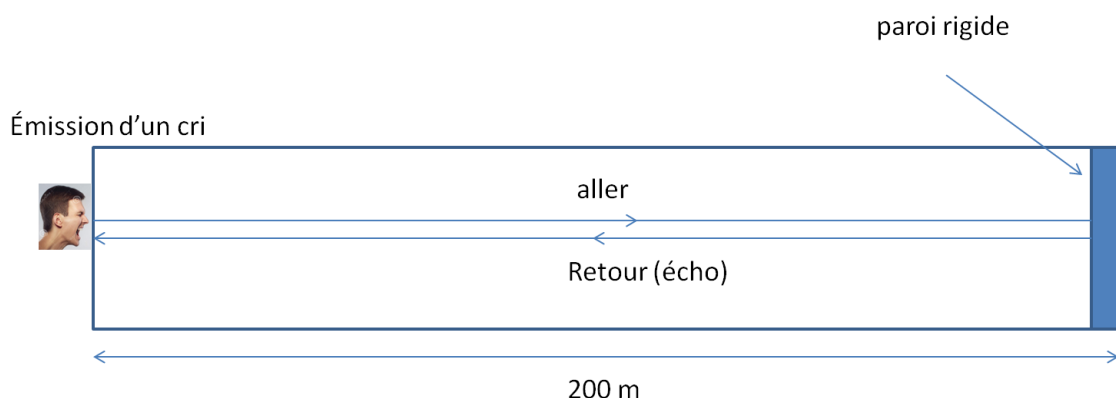


Le son émis par une corde vibrante (piano, guitare, violon, etc..) est un son complexe formé de la superposition d'un son pur fondamental de fréquence  $f$  liée à la tension de la corde et de sons purs dits harmoniques dont les fréquences sont respectivement  $2f, 3f, 4f, 5f, etc \dots$ , c'est-à-dire des multiples de la fréquence fondamentale.

### 5) Vitesse de propagation du son

Le son étant une onde, c'est donc un phénomène qui se propage à une certaine vitesse. Une idée dégrossie peut en être obtenue facilement par temps d'orage, puisque le son d'un éclair est perçu parfois plusieurs secondes après la vision de l'éclair. On parvient alors à estimer que le son parcourt environ 1 Km en 3 s, ce qui fait de l'ordre de plusieurs centaines de mètres par seconde.

Pour affiner la mesure, on pourrait se placer dans un tunnel, disposer à 200 m une surface faisant écho, émettre un cri et mesurer le temps de réception de l'écho.

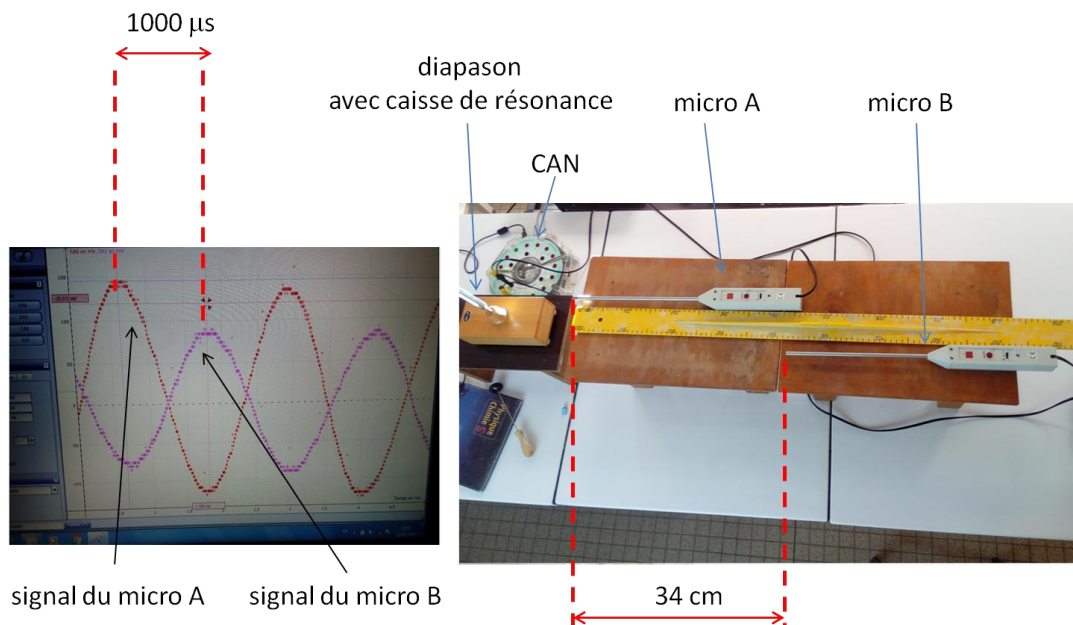


Imaginons (c'est ce qu'on devrait mesurer) que entre l'émission du cri et la perception de son écho soit de 1 seconde 2 dixièmes, alors on en déduirait la vitesse du son en faisant :

$$v = \frac{2 \times 200}{1,2} \approx 333 \text{ m/s}$$

On ne serait donc pas très loin de la valeur plus exacte de  $340 \text{ m/s}$  compte tenu d'une précision de mesure du temps de l'ordre du dixième de seconde.

Une autre méthode nécessitant moins de place est de disposer deux micros sur le trajet de l'onde émise par un diapason, qui est un son pur de  $440 \text{ Hz}$ , en faisant en sorte que les micros soient décalés d'une distance adaptée. En fait la longueur d'onde d'un son de  $440 \text{ Hz}$  est de  $77 \text{ cm}$ , une demi-longueur est une bonne distance, soit  $38 \text{ cm}$ , (En expérience de collège, on a choisi  $34 \text{ cm}$  connaissant a priori la vitesse à mesurer qui doit être de  $340 \text{ m/s}$  et sachant que le son met un temps « rond » de  $1 \text{ ms} = 1000 \mu\text{s}$  pour parcourir  $34 \text{ cm}$  à cette vitesse). Les deux micros font apparaître alors des signaux de variation de pression quasiment en opposition de phase. Quand l'un affiche une pression maximale, l'autre affiche une pression minimale. Le temps séparant le maximum pour le micro le plus près du premier maximum pour l'autre micro correspond alors au temps mis par l'onde pour parcourir  $34 \text{ cm}$ .

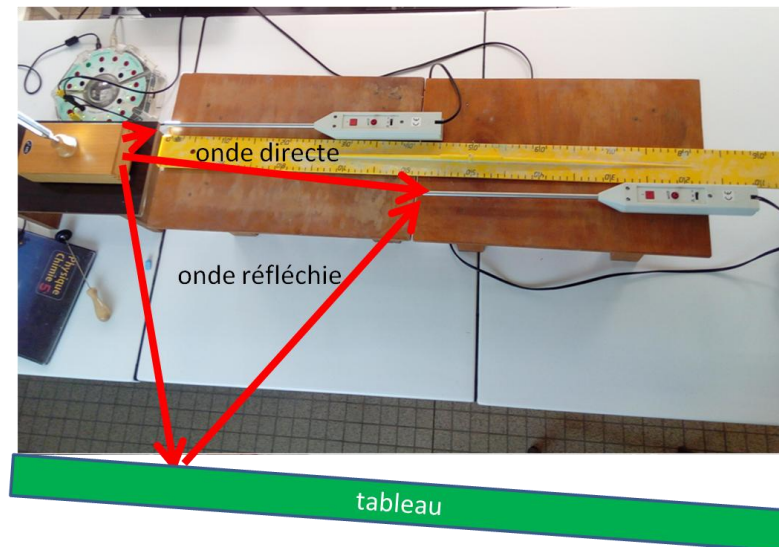


Une estimation de la vitesse du son s'en déduit en faisant :

$$v = \frac{0,34}{1,0 \times 10^{-3}} = 340 \text{ m/s}$$

Remarque : La réalité expérimentale est bien souvent plus facétieuse que la théorie, car en fait, lors de l'expérience effectuée en collège avec le dispositif ci-dessus, il est apparu que le temps séparant le premier pic du micro A du premier pic suivant du micro B variait sensiblement d'une mesure à l'autre, sans que le dispositif expérimental n'ait été notablement changé, les mesures allant de  $900 \mu\text{s}$  à  $1100 \mu\text{s}$  environ, conduisant à estimer la vitesse du son dans une fourchette allant de  $310$  à  $380 \text{ m/s}$ . Comment expliquer cette imprécision non due à l'imprécision des instruments ?.

Réflexion faite, il semble qu'un phénomène soit de nature à parasiter l'expérimentation : la réflexion des ondes sonores. En effet, les deux micros captent à la fois l'onde émanant directement de la vibration du diapason mais aussi celle réfléchiée par le tableau et l'expérimentateur dont la position a pu varier d'une expérience à l'autre. Or l'effet de ces réflexions est de décaler les signaux, mais pas forcément de la même valeur de temps, ce qui peut expliquer l'importante incertitude de mesure.



Pour bien faire, il faudrait installer le dispositif de telle sorte à éviter toute réflexion parasite, idéalement en extérieur, loin de toute paroi et expérimentateur placé derrière le dispositif.

## 6) Hauteur d'un son et domaine audible de l'oreille humaine

Lorsque l'oreille humaine reçoit un son, via le tympan puis l'oreille interne, elle ne détecte que les composantes de ce son qui ont des fréquences comprises entre 20 Hz et 20000 Hz.

Les composantes d'un son qui se situent en dessous de 20 Hz font partie de la famille des **infrasons**. Elles ne sont pas perçues par une oreille humaine mais par certains animaux comme les éléphants.

Les composantes d'un son qui se situent au-dessus de 20 000 Hz font partie de la famille des **ultrasons**. Elles ne sont pas perçues par une oreille humaine mais par certains animaux comme les chiens ou les chauves-souris.

Les sons perçus par l'oreille humaine peuvent être qualifiés, selon leur fréquence, de graves, médium ou aigus mais il n'existe pas de catégories absolument définies. Lorsqu'un son est composé, comme celui émis par la corde d'une guitare par exemple, la composante sinusoïdale de plus basse fréquence appelée **fréquence fondamentale** définit la **hauteur** de ce son. Plus la fréquence fondamentale est élevée, plus la hauteur du son est élevée et plus le son est perçu comme aigu.



Inversement, plus la fréquence fondamentale est basse, plus la hauteur du son est faible et plus le son est perçu comme grave.

A titre d'exemple, proposons un découpage arbitraire des sons, selon la valeur de leur fréquence fondamentale, afin de se faire une idée :

Les sons graves : fréquences fondamentales de 20 à 300 Hz (note la plus basse d'un piano autour de 30 Hz)

Les sons médium : fréquences fondamentales de 300 à 1500 Hz (note de référence d'accord d'un piano = 440 Hz)

Les sons aigus : fréquences fondamentales de 1500 Hz à 20 000 Hz (note la plus aigue d'un piano autour de 4000 Hz)