

# Le son : Production et amplification

L'ouïe permet aux animaux de communiquer entre eux, d'être alertés en cas de danger ou même de se repérer dans l'espace. Mais l'ouïe, c'est aussi l'un des cinq sens de l'être humain! Depuis la préhistoire, l'Homme a cherché à dompter les sons, à travers les siècles il y a tant excellé qu'il érigea leur maniement au rang d'art et inventa la musique. Pythagore est l'un des premiers à avoir formalisé les rapports qu'entretiennent les sons harmonieux; il inventa la gamme Pythagoricienne. Jean-Sébastien Bach après lui inventa le tempéramment égal qui permit d'affranchir la créativité des artistes des contraintes de la gamme de Pythagore. Mais comment donc sont produits les sons? Comment fonctionnent les instruments de musique? Comment les accorder pour qu'ils produisent des sons harmonieux? Pourquoi les baleines sont-elles perturbées par les sonars des bateaux, mais pas l'homme? Sachez qu'il existe un domaine de la physique qui permet de répondre à ces questions : c'est l'acoustique, et nous l'étudions dans ce chapitre!

L'acoustique est le domaine de la physique qui s'intéresse à la production des ondes sonores et aux mécanismes de leur propagation. Dans ce chapitre, nous allons en étudier trois aspects : la partie 1 explique comment les sons sont produits, et comment leur amplification les rend audibles. La partie 2 fournit des outils physiques qui permettent de qualifier un son d'une façon objective, c'est-à-dire d'une façon qui ne dépend pas de l'appareil de mesure utilisé (microphone, oreille humaine ou autre). Enfin la partie 3 nous montre comment ces sons sont perçus par l'oreille humaine.

## 1 La production du son

Cette partie est dévolue à l'explication de la production des sons, de leur amplification et des mécanismes de leur propagation. Nous présentons les trois éléments essentiels à la production efficace d'un son : le milieu de propagation, la source sonore et la caisse de résonance .



FIGURE 6.1: Flûte en os de vautour de Hohle Fels. Il s'agit du premier instrument de musique retrouvé, et date de 35000 ans! (Extrait de Futura sciences)

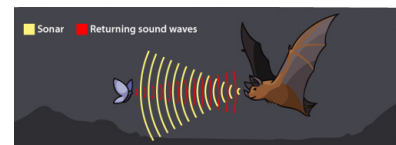


FIGURE 6.2: Les chauves-souris chassent à l'aide d'ultrasons

## 1.1 Rôle du milieu de propagation

### Définition 6.1: Son

Un son est une vibration d'un milieu matériel autour d'un état de repos.

REMARQUE : Un milieu matériel est un milieu constitué de matière, c'est-à-dire un solide, un liquide ou un gaz. Autrement dit tout, sauf du vide!

EXEMPLES :

- Le son se propage dans l'air quand on entend la sirène des pompiers.
- Le son se propage dans un fil tendu -un solide donc - lorsqu'on fait l'expérience du « talkie-walkie » avec des pots de yaourt reliés par un fil!
- Le son ne se propage pas dans le vide!

EXPÉRIENCE :

Le son a besoin de se propager dans un milieu matériel<sup>1</sup> (solide, liquide, ou gaz). Cela est dû au fait que le son se propage de proche en proche grâce aux particules (molécules ou atomes) du milieu.

L'expérience présentée figure 6.3 montre que sans air, le son émis par un réveil ne parvient pas à nos oreilles! Ceci illustre l'importance du milieu de propagation.

## 1.2 Source Sonore

Pour que l'émission d'un son soit possible, il faut une source sonore.

### Définition 6.2: Source sonore

La source sonore est l'élément qui, à travers une action mécanique, fournit l'énergie nécessaire à la mise en vibration.

EXEMPLES :

- La membrane d'un haut-parleur fournit l'énergie nécessaire pour faire vibrer l'air environnant en vibration, ce qui produit un son.
- Une corde de guitare est pincée, le sillet puis le chevalet de la guitare transmettent la vibration à la table d'harmonie, qui à son tour met l'air en vibration : un son est émis.
- De l'air est soufflé dans les cordes vocales avec un débit régulier. Les cordes vocales vibrent au passage de l'air ce qui le met en vibration. Cet air s'échappe ensuite par la bouche : le son de la voix se fait entendre.



FIGURE 6.3: Le son ne se propage pas dans le vide : si l'on place un réveil qui sonne dans une cloche à vide, on peut étouffer le son en retirant l'air de la cloche! Vidéo sur la chaîne Unisciel

1. La lumière, au contraire, peut se propager dans le vide!

POUR ALLER PLUS LOIN :

Selon le milieu, les interactions entre particules peuvent propager deux types d'ondes sonores :

**PROPAGATION LONGITUDINALE** Dans un fluide, le son se propage de façon longitudinale : c'est une succession de compressions-dilatation des particules de fluide.

**PROPAGATION TRANSVERSE** (uniquement dans les solides) Dans un solide, des ondes transverses sont aussi possibles car des liens physiques unissent les particules entre elles.

### 1.3 La caisse de résonance

En pratique, la source vibrante est souvent un solide (le métal du diapason, la corde de guitare, etc...) et le milieu de propagation l'air. Or le transfert de la vibration entre un solide et l'air est inefficace. Ainsi, le solide ne transmet pas efficacement sa vibration à l'air environnant. Afin d'améliorer cette transmission, on utilise une caisse de résonance, qui joue le rôle d'intermédiaire entre la source vibrante et l'air. Pour être efficace, une caisse de résonance doit :

1. Offrir une large surface de contact avec l'air pour maximiser la transmission des vibrations entre caisse de résonance et air.
2. Être légère, afin d'offrir peu d'inertie à la mise en vibration. Cela permet la transmission du son entre la source vibrante et la caisse de résonance.

Par exemple les peaux de tambours, mais aussi les fines tables d'harmonie des instruments à cordes, remplissent ce rôle à merveille!



FIGURE 6.4: Un diapason est mis en vibration au moyen d'un marteau (l'ensemble constitue la source sonore). Le volume est alors très faible, jusqu'à ce qu'on mette le diapason au contact d'une caisse de résonance. Le volume sonore augmente alors très nettement. Vidéo du phénomène sur le site d'[Unisciel](#)

## 2 Description physique du son

Jusqu'à présent, nous avons décrit la production du son. Dans cette partie, nous présentons des grandeurs qui permettent une description chiffrée (quantitative) du son.

### 2.1 Point maths : Les fonctions périodiques

#### Définition 6.3: Fonction périodique

On appelle fonction périodique une fonction dont le graphe est constitué de la répétition d'un motif, translaté bout-à-bout.

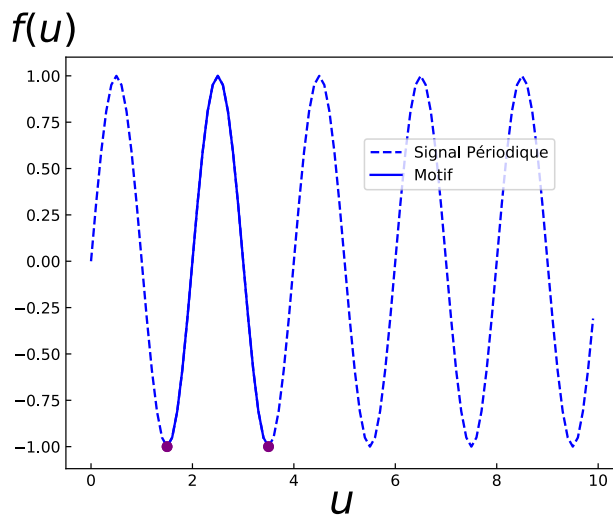


FIGURE 6.5: Nous représentons en pointillés le graphe d'une fonction arbitraire  $f$  d'une variable arbitraire  $u$ . En trait plein, nous mettons en évidence un motif élémentaire. On peut déduire l'intégralité du graphe en dupliquant ce motif bout-à-bout.

Exemple :

- Dans l'air, le son correspond est une surpression, notée  $\delta P$  par rapport à la pression atmosphérique  $P_0 = 1013 \text{ hPa}$ . Cette surpression est une fonction périodique dans le temps.
- L'intensité lumineuse issue d'un clignotant de voiture est une fonction périodique.

À partir de maintenant, nous ne considérons que des fonctions qui dépendent du temps  $t$ .

#### Définition 6.4: Période, fréquence

On appelle période, et on note  $T$ , la plus petite durée au bout de laquelle un signal périodique se reproduit à l'identique. On définit alors la fréquence, notée  $f$

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

La période  $T$  peut s'exprimer en secondes  $s$ , la fréquence  $\nu$  peut s'exprimer en Hertz, symbolisés Hz.

INTERPRÉTATION :

- La période  $T$  représente la durée d'un motif élémentaire
- On remarque que  $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$  : autrement dit, la fréquence, exprimée en hertz, correspond au nombre de motifs du signal périodique qui se répètent chaque seconde.

#### Définition 6.5: Vitesse du son

On appelle vitesse du son la vitesse d'un signal sonore.

REMARQUES :

- La vitesse du son dépend du milieu de propagation : dans l'air il se propage à environ  $340 \text{ m s}^{-1}$ , dans l'eau à  $1500 \text{ m s}^{-1}$ , dans l'acier à  $6000 \text{ m s}^{-1}$ . (Vitesse du son dans l'air à connaître par cœur!)
- Dans de nombreux fluides, la vitesse du son dépend très peu de la fréquence : les sons graves et les sons aigus se propagent aussi vite : on dit que ces fluides sont non dispersifs.

### 3 Perception des sons par l'oreille humaine

Dans cette partie, nous expliquons comment les sons sont perçus par l'oreille humaine, c'est ce qu'on appelle de la psychoacoustique.

#### 3.1 Perception de la fréquence

L'oreille humaine ne perçoit pas toutes les vibrations de l'air, elle est limitée dans les fréquences qu'elle perçoit.

REMARQUES : (MESURE DE  $T$ )

- Pour un signal donné, il existe une infinité de motifs élémentaires. En effet, on peut commencer à chercher une répétition périodique à partir de n'importe quel instant  $t$  ! La durée de tout motif est cependant la même quel que soit le motif, comme nous le constatons figure 6.6.
- D'un point de vue expérimental cependant mesurer l'instant du maximum d'un signal est moins précis que de mesurer l'intersection d'un front montant de ce signal avec une ordonnée de référence. En effet les variations franches de la fonction conduisent à une lecture plus précise. On préfère donc la deuxième solution ! Souvent on mesure la durée de plusieurs motifs, que l'on divise par le nombre de motifs englobés, ce qui réduit d'autant l'incertitude de mesure.

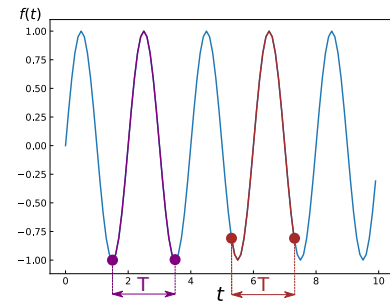


FIGURE 6.6: En violet et en rouge : deux motifs possibles pour le signal périodique bleu. Dans les deux cas, leur durée est la même :  $T = 2$  unités arbitraires, ce qui légitime la définition de la période.

**Propriété 6.1: Domaine audible**

L'oreille humaine est capable d'entendre les signaux de 20 Hz à 20 kHz.

Ces bornes varient d'un individu à l'autre et pour un même individu avec l'âge, le degré de fatigue et l'état de santé.

L'oreille humaine ne perçoit pas chacune des répétitions périodiques du signal sonore, en effet ces dernières sont beaucoup trop rapides! Le signal est en fait interprété par le cerveau comme une note aigue ou une note grave.

**Propriété 6.2: Notes aigues, notes graves, infrasons, ultrasons**

L'oreille humaine perçoit les signaux d'autant plus aigus que leur fréquence est élevée. Elle perçoit les signaux d'autant plus graves que leur fréquence est basse.

On appelle ultrasons les sons plus aigus que 20 kHz, et infrasons les sons plus graves que 20 Hz. Ces sons sont inaudibles par l'oreille humaine.

**EXEMPLES :**

La note de musique « La » qui se situe au milieu du piano, est traditionnellement accordée à 440 Hz. Le « La » de l'octave inférieure est à 220 Hz. À l'octave supérieure : 880 Hz

REMARQUE : Être exposé à de trop fortes intensités sonores peut induire une perte prématurée de l'audition, on peut diagnostiquer le problème par une perte d'audition dans les hautes fréquences qui se remarque parce qu'on entend « sourd », comme à travers une couverture.

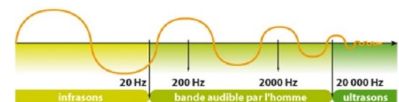


FIGURE 6.7: Qualification des sons selon leur fréquence

### 3.2 Perception du volume sonore

#### Définition 6.6: Niveau d'intensité sonore (différent de niveau de pression acoustique)

Si dans un fluide au repos, la pression vaut  $P_0$ , un son correspond à une perturbation  $\delta P$  de cet état de repos. Cette perturbation dépend de la position et du temps. La pression totale vaut alors :

$$P = P_0 + \delta P$$

Par exemple, l'air atmosphérique au repos, au niveau de la mer à 20°C reste à la pression  $P_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 1013 \text{ hPa}$ . Une onde sonore perturbe cet état de repos d'une quantité  $\delta P$  qui dépend de la position et du temps.

Le seuil de sensibilité de l'audition humaine est de  $\delta P = 20 \mu\text{Pa}$ , le seuil de douleur correspond environ à  $\delta P = 100 \text{ Pa}$ .

Nous voyons ici que la gamme des intensités acoustiques pertinentes à l'oreille humaine charrie de 7 ordres de grandeur, c'est pourquoi on préfère mesurer le niveau d'intensité sonore en décibels, notés dB.

- Le niveau de 0 dB correspond au seuil de l'audition humaine.
- Le niveau 115 dB correspond au seuil de douleur
- Entre les deux, les décibels obéissent à une progression logarithmique, c'est à dire qu'un doublement de la pression acoustique induit une augmentation de +6dB (Attention, un doublement de l'intensité acoustique (en W/per/square/meter) induit +3 dB, il ne faut pas confondre surpression et intensité).

#### Définition 6.7: Timbre

Si deux signaux périodiques de même fréquence différent par leur motif, ils sont perçus différemment par l'oreille humaine, on dit que leur timbre est différent.

L'application disponible [ici](#) permet de tracer un motif, de choisir une fréquence, et d'écouter le son résultant. (Attention, elle n'a été testée que sur ordinateur, sur le navigateur Firefox.)

ACTIVITÉ FABRICATION D'UN SYNTHÉTISEUR AVEC ARDUINO (en TP).

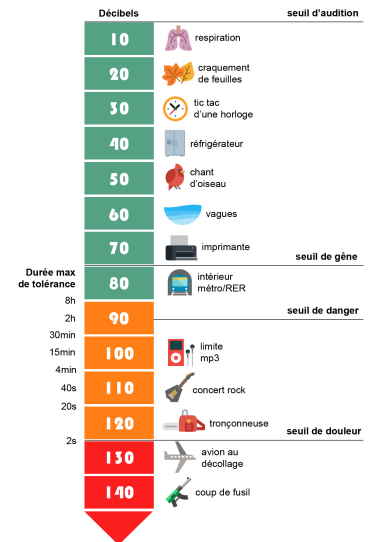


FIGURE 6.8: Échelle de niveaux d'intensité sonore en décibels.

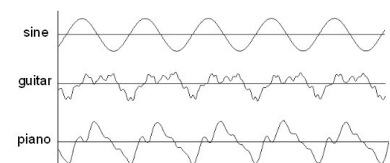


FIGURE 6.9: Le motif élémentaire d'un "La" de guitare et de piano différent, d'où la différence de timbre, bien que leur hauteur soit la même!

**À la fin de ce chapitre, je sais (extrait du B.O.) :**

- Décrire le principe de l'émission d'un signal sonore par la mise en vibration d'un objet et l'intérêt de la présence d'une caisse de résonance.
- Expliquer le rôle joué par le milieu matériel dans le phénomène de propagation d'un signal sonore.
- Citer une valeur approchée de la vitesse de propagation d'un signal sonore dans l'air et la comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées.
- (En TP) Mesurer la vitesse d'un signal sonore.
- Définir et déterminer la période et la fréquence d'un signal sonore notamment à partir de sa représentation temporelle.
- (en TP) Utiliser une chaîne de mesure pour obtenir des informations sur les vibrations d'un objet émettant un signal sonore.
- (en TP) Mesurer la période d'un signal sonore périodique.
- (en TP) Utiliser un dispositif comportant un microcontrôleur pour produire un signal sonore.
- CAPACITÉS MATHÉMATIQUES : Identifier une fonction périodique et déterminer sa période.
- Citer les domaines de fréquences des sons audibles, des infrasons et des ultrasons.
- Relier qualitativement la fréquence à la hauteur d'un son audible.
- Relier qualitativement intensité sonore et niveau d'intensité sonore.
- Exploiter une échelle de niveau d'intensité sonore et citer les dangers inhérents à l'exposition sonore.
- (en TP) Enregistrer et caractériser un son (hauteur, timbre, niveau d'intensité sonore, etc.) à l'aide d'un dispositif expérimental dédié, d'un smartphone, etc.