

Chapitre 11 : le son

Qu'est-ce qu'un son ?



Figure 1: Nuage de mots répondant à la question *Qu'est-ce que le mot "son" évoque pour vous?*

1 Physique du son

1.1 Rappels de quatrième sur la pression

L'air est composé de molécules et notamment à 78% de diazote, à 21% de dioxygène, à 0,9% d'argon et 0,1% d'autres gaz parmi lesquels le CO_2 est le plus présent. Ces molécules qui nous entourent sont agitées : elles se cognent et rebondissent contre les objets sur leur passage. En se cognant, elles *poussent* ces objets et exercent donc une force sur eux.

Cette force par unité de surface qu'exercent les molécules est la **pression**. Plus les molécules tapent fort sur une paroi, plus la pression est donc forte. De même façon, plus les molécules sont nombreuses, plus la pression est importante.

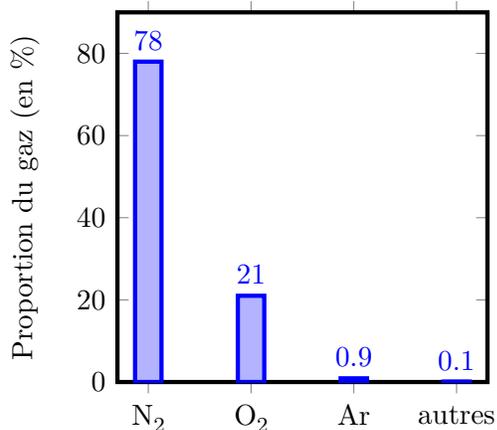


Figure 2: Proportion actuelle des gaz atmosphériques.

1.2 Propagation d'un son

Expérience : entreposons des petites billes de polystyrène sur une feuille d'aluminium tendue et tapons sur une poubelle vide (un gros objet) à côté [1].

Observation : les petites billes de polystyrène sautent sur la membrane d'aluminium.

Conclusion : lorsqu'on tape sur la poubelle, on provoque une onde sonore qui se déplace jusqu'à la feuille d'aluminium. Lorsqu'on tape sur la poubelle, la poubelle vibre et fait donc vibrer les molécules qui sont juste à côté. Ces molécules qui vibrent vont alors pousser leurs voisines qui, à leur tour, vont pousser leurs voisines etc. Il en résulte la propagation d'une onde : l'onde sonore.



Figure 3: L'onde sonore provoquée en tapant sur la poubelle se propage jusqu'à la feuille d'aluminium. Celle-ci vibre à cause du son et fait sauter les boules de polystyrène. Tiré de [1].

Le son peut-il donc se déplacer dans le vide ?

Expérience : on place un réveil qui sonne sous une cloche et on enlève les molécules qui sont dans la cloche à l'aide d'une pompe à vide [3].

Observation : avant d'actionner la pompe à vide, on entend le réveil. Plus la pompe à vide marche, plus l'intensité du son diminue.

Conclusion : Après avoir pompé assez longtemps, il n'y a plus assez de molécules pour que le son se propage bien et que nous puissions l'entendre. Dans le vide, le son ne peut donc pas se propager. Il n'est donc pas possible de se parler dans l'espace, où il y a très peu de molécules.

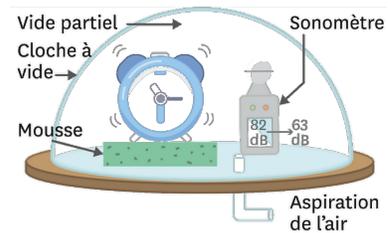


Figure 4: Schéma de l'expérience : on place un réveil dans une cloche à vide. Tiré de [2].

Une onde sonore se propage donc dans un **milieu matériel** (par exemple l'air, l'eau, le bois) pour se propager. Dans l'air, lorsqu'une onde sonore se propage, on peut observer des endroits où la pression est plus forte (zone de surpression où il y a plus de molécules) et d'autre où celle-ci est plus faible (zone de dépression où il y a moins de molécules).

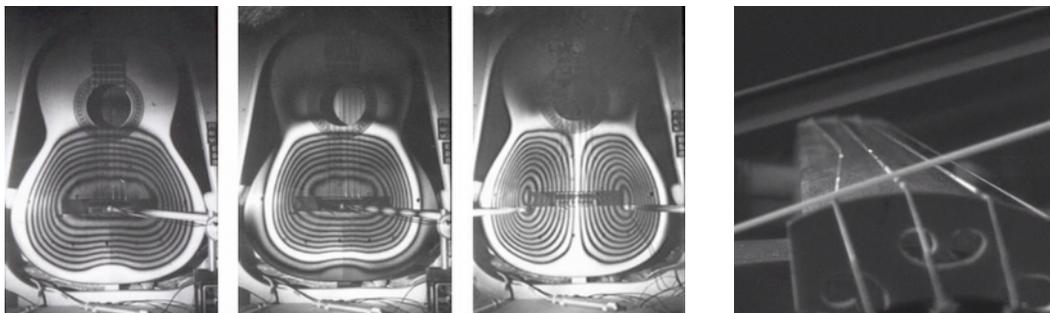


Figure 5: À gauche, holographie de modes de vibration d'une guitare. Les lignes noires sur la guitare représente l'onde sonore qui se propage à travers la coque. Le son est ensuite transmis dans l'air puis il est amplifié grâce à la caisse de résonance de la guitare : le forme de la guitare est faite pour amplifier les sons qu'elle produit. À droite, on peut voir le mouvement d'une corde d'un violon lorsque celle-ci est frottée par l'archet. Tiré de [4] et [5].

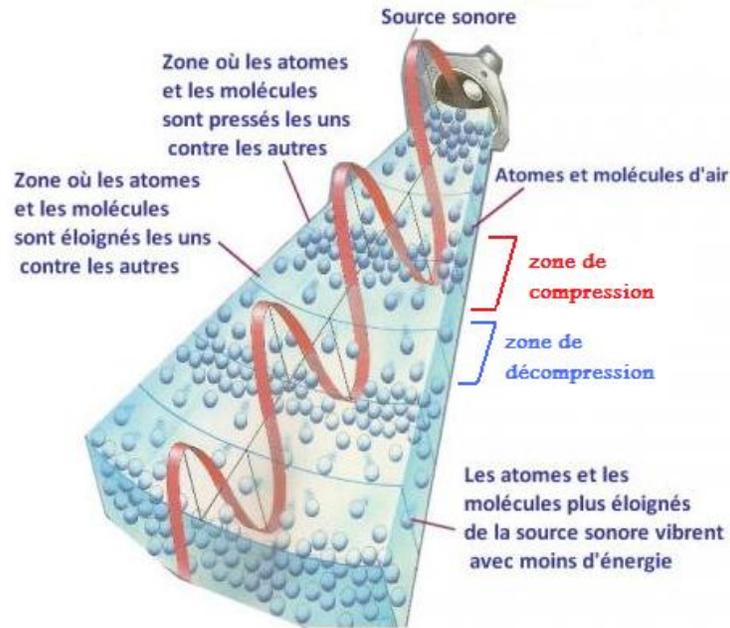


Figure 6: La propagation d'une onde sonore dans l'air est due à la vibration des molécules. Tiré de [6].

1.3 Vitesse du son

La vitesse du son dépend du milieu matériel dans lequel il se propage. La vitesse de propagation du son dans l'air est **340m/s**. En revanche, elle est de 1480m/s dans l'eau et de 5120 m/s dans le fer. Globalement, la célérité du son est plus importante dans les phases condensées (solide et liquide) que dans les gaz. Ainsi, le son aura tendance à se déplacer plus vite dans un solide que dans un liquide que dans un gaz. En effet, plus les atomes sont proches les uns des autres, moins de temps ils mettent pour cogner leur voisin et ainsi faire propager l'onde sonore.



Figure 7: On peut coller l'oreille contre les rails pour savoir si le train arrive. Cette scène a été réalisée par des professionnels, n'essayez pas de refaire ça vous même.

Ainsi, lorsqu'il y a un éclair, on voit quasi immédiatement l'éclair et on entend le tonnerre après quelques secondes. Pour savoir à quelle distance l'éclair a frappé en kilomètre, il suffit de diviser par trois le temps d'attente du son. En effet, le son se déplace d'environ 1/3 de kilomètre en une seconde donc en 9 secondes, il aura parcouru $9/3 = 3$ kilomètres.

Pour résumer et aller plus loin : sur son site [7], Jean Duperrex résume parfaitement bien le phénomène de propagation d'une onde sonore.

“Un son est en définitive une variation de la pression atmosphérique que je peux percevoir avec mon ouïe. Les variations de pression atmosphérique sont assez lentes. Ce n'est qu'en prenant l'avion ou en redescendant de la montagne que nous pouvons rapidement être soumis à des variations de pression. Ou en faisant du bruit.

Lorsque je frappe un objet il se met à vibrer. Il transmet ces vibrations à l'air qui se met à osciller autour d'une position d'équilibre. Au bout d'un certain temps cette oscillation s'arrête: l'onde est amortie et on retrouve la position d'équilibre. Si on veut un son plus long, il faut entretenir l'oscillation en fournissant de l'énergie: les instruments de musique peuvent le faire.”

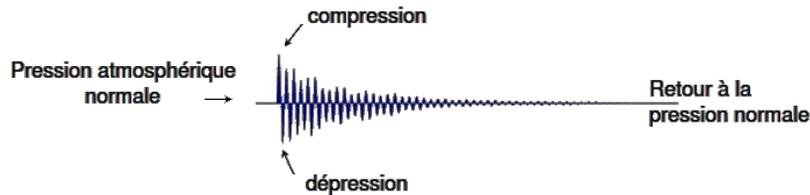


Figure 8: Évolution de la pression lors du passage d'une onde sonore en un point de l'espace en fonction du temps. L'amplitude de l'onde sonore diminue : celle-ci est de moins en moins forte. Tiré de [7].

2 Caractérisation d'un son

On peut caractériser un son grâce à trois propriétés : sa fréquence, son intensité mais aussi son timbre.

2.1 Intensité sonore

L'intensité sonore se mesure avec un sonomètre (ou sous son autre nom décibelmètre) et son unité est le **décibel**. L'échelle des décibels est assez bizarre¹ cependant :

dès lors la puissance de la source sonore est multipliée par 2, l'intensité sonore augmente de 3 dB.

Si une personne crie et qu'une autre personne la rejoint, l'intensité sonore augmente de 3dB. Mais si une personne chuchote et qu'une autre personne chuchote en même temps, l'intensité sonore augmente aussi de 3dB.

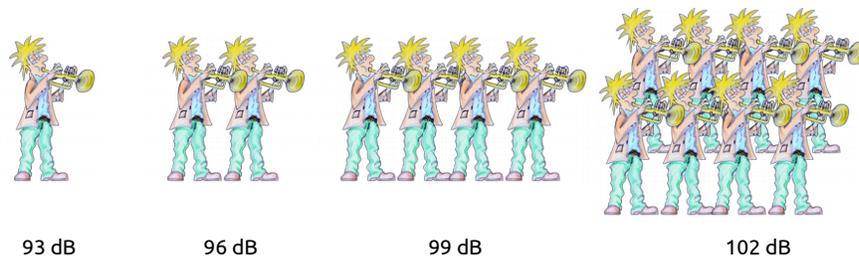


Figure 9: Si un trompettiste joue à 93 dB et qu'on en rajoute un second qui joue pareil, le nombre de musicien est multiplié par deux donc l'intensité sonore augmente de 3 dB : elle passe à 96 dB. Si maintenant on remultiplie la source sonore (le nombre de trompettistes) par deux, l'intensité sonore ré-augmente de 3 dB : elle est de 99 dB. Si on passe de 4 à 8 musiciens, l'intensité sonore passe de 99 à 102 dB. Si on passe ensuite à 16 musiciens, elle sera de 105 dB. Le dessin est de ©Christian Ragaine.

Si on écoute trop longtemps un son trop fort, il y a des risques pour l'audition : les cils qui transforment l'onde sonore (signal mécanique) en onde électrique qui arrive ensuite au cerveau se cassent si l'intensité sonore est trop forte. Et ceux-ci ne peuvent se régénérer ! La figure 10 représente l'échelle des bruits et leur dangerosité.

¹son principe mathématique sera vu au lycée

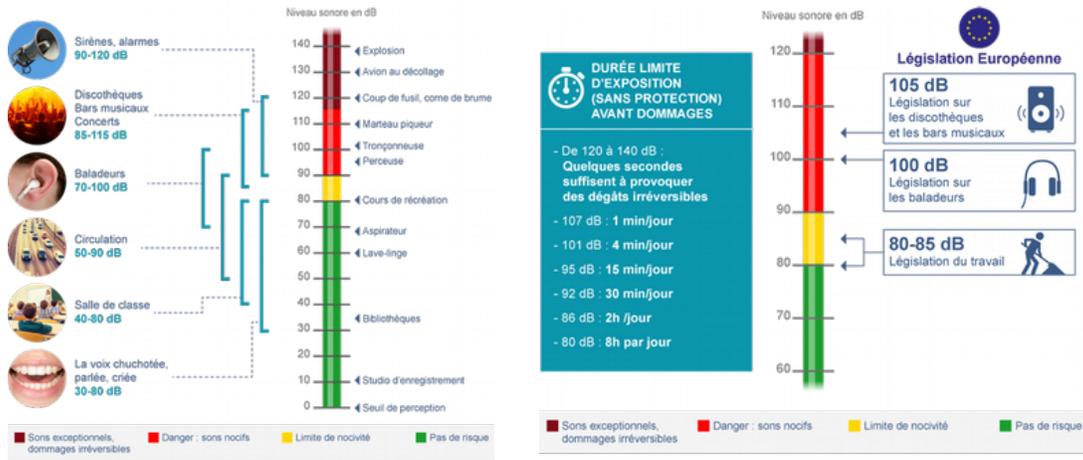


Figure 10: Écouter trop longtemps une son dont l'intensité est trop forte peut endommager l'ouïe. Tiré de [8].

2.2 Fréquence

Faire le TP sur la fréquence sonore.

Expérience : prenons un accordeur et plaçons le à côté du piano. L'accordeur indique la note ainsi que la fréquence.

Observations :

Note	Do 3	Mi 3	Sol 3	La 3	Do 4	Fa 4	La 4	Do 5
Note	C4	E4	G4	A4	C5	F5	A5	C6
Fréquence	261 Hz	330 Hz	392 Hz	440 Hz	520 Hz	698 Hz	880 Hz	1040 Hz

On observe également, ou plutôt on entend également, que les fréquences faibles correspondent à des notes graves. Les notes aiguës correspondent à des fréquences plus élevées. On remarque également que la fréquence du Do 4 est la double de celle du Do 3. De même, la fréquence du Do 5 est deux fois celle du Do 4.

Interprétation : lorsqu'on saute d'un octave à l'autre on double la fréquence. Ainsi, la fréquence du Do 2 est environ $261/2 = 130\text{Hz}$ et celle du Do 6 est $1040 \times 2 = 2080\text{Hz}$.

Conclusion : plus la fréquence d'une note est petite, plus le son est grave. Plus la fréquence est grande, plus le son est aiguë. Multiplier par deux la fréquence d'une note revient à jouer cette note un octave au-dessus.

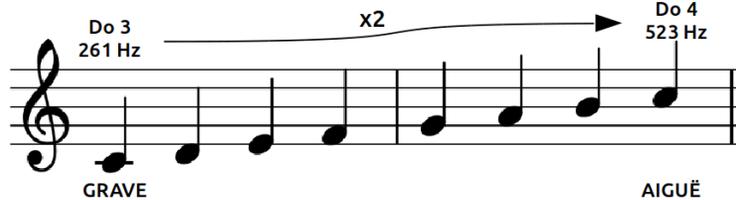


Figure 11: Les notes les plus graves ont les fréquences les plus basses alors que les notes aiguës ont des fréquences élevées. Lors du passage du Do 3 au Do 4, la fréquence est multipliée par deux.

Pour aller plus loin : nous avons vu précédemment qu'on pouvait représenter un son en traçant les variations de pression à un endroit de l'espace en fonction du temps. Si on place un micro à cet endroit, on peut enregistrer le signal acoustique. On obtient les signaux électrique de la figure 12.

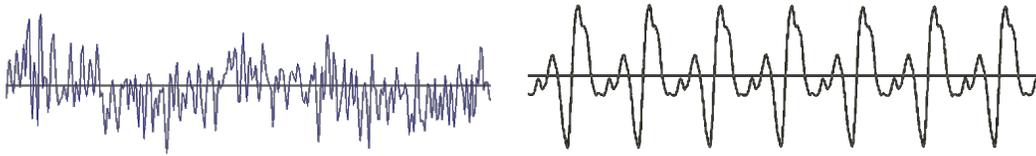


Figure 12: Signal électrique enregistré par un micro au cours du temps. À gauche, le signal n'est pas périodique, il ne se répète pas : on entend un bruit. À droite, le signal se répète, on dit qu'il est périodique et on peut lui associer une fréquence. Il s'agit du nombre de battements en une seconde.

2.3 Timbre

Deux mêmes notes, c'est-à-dire deux notes de même fréquence, jouées par deux instruments différents sonneront-elles identique à l'oreille ? Non, bien entendu. Le son d'un piano est différent de celui d'une guitare. Si leur fréquence est la même, c'est par leur *timbre* que nous pouvons les différencier. Le **sonogramme** (ou spectrogramme) permet de visualiser le timbre d'un son. Un son est en fait composé de plusieurs fréquences sonore dont la plus petite est la fréquence fondamentale.

Définitions :

Fréquence fondamentale : elle correspond à la hauteur du son. Il s'agit sur le sonogramme de la fréquence la plus petite (celle la plus en bas) et est souvent la fréquence la plus intense donc la plus en rouge sur le sonogramme.

Harmoniques : ce sont toutes les fréquences supérieures qui donnent le timbre au son. Ce sont tous les pics au-dessus de la fréquence fondamentale. L'intensité de chaque harmonique varie selon l'instrument et la voix : ce sont celle-ci qui constituent le timbre du son.

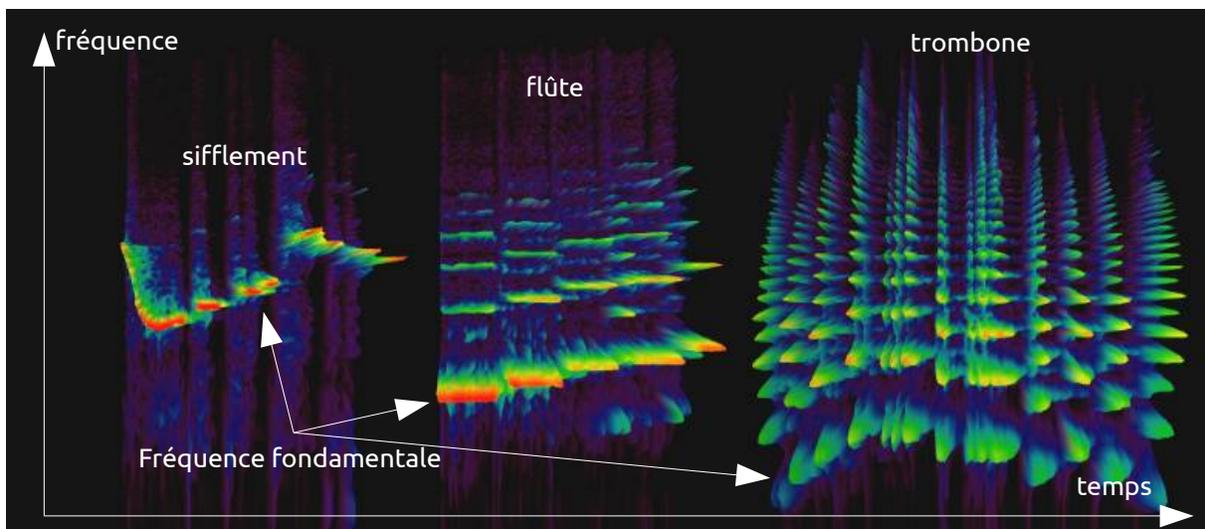


Figure 13: Sonogrammes d'un sifflement, d'une flûte et d'un trombone. Le pic (zone rouge dont la couleur est forte) le plus bas représente la fréquence fondamentale : c'est lui qui fixe la hauteur du son. Les pics qu'on peut voir au-dessus composent le timbre du son et sont propre à chaque instrument. Réalisé via [9].

Les sonogrammes présentés en figure 13 sont ceux d'un sifflement, d'une flûte et d'un trombone. Sur le sonogramme de la flûte, le pic inférieur, le plus rouge donc dont l'intensité est la plus forte, fixe la hauteur de la note, sa fréquence. Sur le graphe, la fréquence augmente donc le son est de plus en plus aiguë.

Le sonogramme du sifflement n'est composé quasiment de qu'un seul pic à chaque instant, sa fréquence fondamentale : il a très peu d'harmoniques. On dit que c'est quasiment un son pur. En revanche, le sonogramme du trombone possède énormément d'harmoniques : il s'agit d'un son très complexe.

Tout comme les instruments, chaque voix a un timbre différent. On peut voir sur la figure 14 que chaque voyelle a même son propre timbre. C'est d'ailleurs comme ça que nous pouvons les reconnaître, parler et nous comprendre.

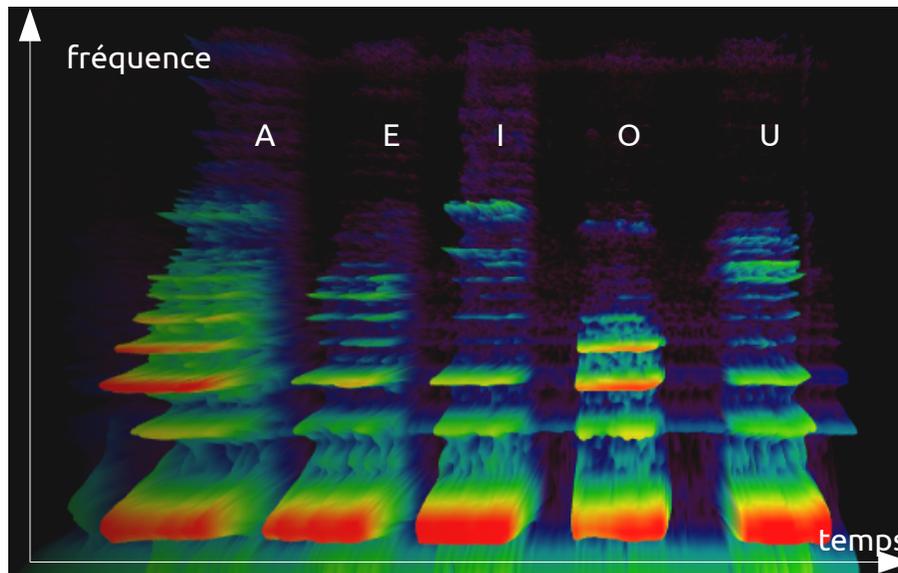


Figure 14: Sonogramme de différentes voyelles de l'alphabet par M. Gondret. La fréquence fondamentale de chaque voyelle est la même mais les harmoniques différent. Réalisé via [9].

References

- [1] C'est pas sorcier. Le bruit. *France Télévision*, 1997.
- [2] Lionel Douthe Baptiste Fray *et al.* Physique chimie 2nde, 2018.
- [3] Jean-Marie Blondeau, Bernard Bonnel, Monique Vindevoghel, Bernard Mikolajczyk, and Gérard Destrun. *Physique à main levée, Université de Lille*, consulté le 23/04/2020.
- [4] Benjamin Elie. *Vibroacoustic characterization of string instruments - Application for lutherie assistance*. Theses, Université du Maine, November 2012.
- [5] ViolinB0W. Bowed violin string in slow motion.
- [6] Marie-Estelle Duhamel, Solène Bossey, and Baptiste Deschamps. Les effets de la musique sur les êtres vivants. *Lycée Jean-Baptiste de la Salle de Rouen*, consulté le 22/04/2020.
- [7] Jean Duperrex. Acoustique, consulté le 3/05/2020.
- [8] Association NeurOreille. Bruit : attention danger ! protection. *Voyage au Centre de l'Audition*, consulté le 3/05/2020.

- [9] Jeremy Morrill et Boris Smus. Spectrogramme. *Chrome Music Lab*, consulté le 3/05/2020.
- [10] Christelle Loubayere. Vitesse du son. *Collège Le Castillon*, consulté le 21/04/2020.
- [11] Philippe Gondret. Ondes acoustiques : émission, propagation, réception. *La musique des ondes, UniverCité de Gif-Sur-Yvette*, 2019.
- [12] Son (physique). *Wikipédia*.

Attendus de l'élève

À la fin de ce chapitre, l'élève devra

- connaître les gaz qui composent l'atmosphère,
- savoir qu'un son a besoin d'un milieu matériel pour se propager, qu'il ne peut se propager dans le vide,
- avoir quelques ordres de grandeur de la vitesse du son dans certains matériaux, qu'il va à 340m/s dans l'air sec à 20°C,
- savoir que lorsque la puissance sonore est doublée, l'intensité sonore augmente de 3 dB,
- connaître les dangers associés à une écoute prolongé d'un son trop fort,
- savoir que la fréquence se mesure en hertz, comparer des notes aiguës et graves grâce à leur fréquence,
- savoir repérer si deux sons ont la même hauteur sur un sonogramme, s'ils ont le même timbre.