

Chapitre 16 : Emission et perception d'un son

I Production d'un signal sonore

1) Création d'un signal sonore

Un signal sonore est créé par la vibration rapide d'un objet.

Exemple : les vibrations des cordes d'une guitare, des ailes d'un insecte, de la membrane d'un haut-parleur ou des cordes vocales.



Cette vibration est très faible et n'est pas forcément visible à l'œil nu. Elle provoque des sons de faible intensité. Pour résoudre ce problème, beaucoup d'instruments de musique sont dotés d'une caisse de résonance.

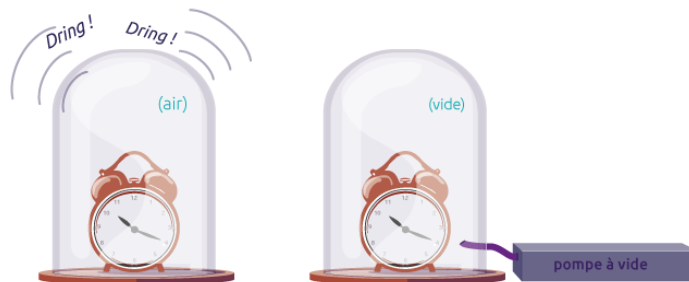
Les vibrations produites par l'objet sont transmises à la caisse de résonance qui fait vibrer le volume d'air qu'elle contient, ce qui amplifie le signal sonore.



Une caisse de résonance permet d'amplifier un signal sonore.

2) Propagation d'un signal sonore

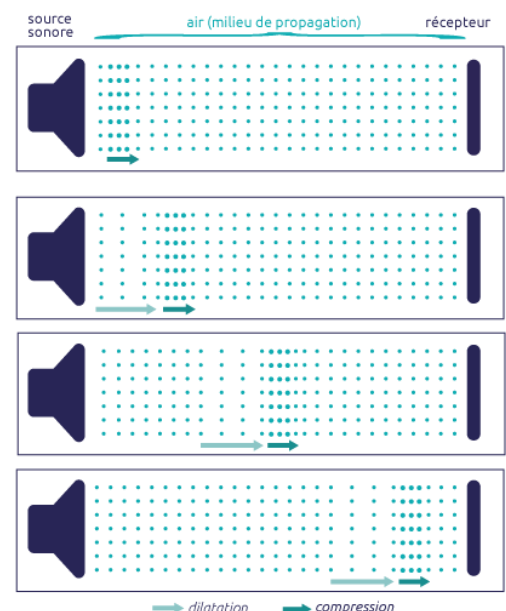
Si on met un réveil qui sonne dans une cloche où on a fait le vide, on ne l'entend pas !



Un signal sonore a besoin d'un milieu matériel pour se propager comme l'air, l'eau ou les solides. Il ne peut pas se propager dans le vide. C'est une onde mécanique.

La vibration initiale est transmise de proche en proche aux molécules de l'air, sans que l'objet qui vibre ne se déplace lui-même et sans que les molécules de l'air ne soient transportées sur une grande distance.

Une onde sonore est donc constituée d'une succession de compressions et de dilatations des molécules de l'air.



Un signal sonore est un phénomène de déplacement d'une vibration de proche en proche dans un milieu matériel et sans transport effectif de matière.

Exemple : Dans une ola dans un stade, la vague se déplace, mais les supporters ne l'accompagnent pas dans son déplacement latéral, ils restent sur place.



3) Vitesse de propagation d'un signal sonore

La vitesse de propagation d'un signal sonore peut se déterminer par la relation :

$$\frac{d}{v \Delta t}$$

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

$$d = v \times \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{d}{v}$$

Avec v : vitesse de propagation en mètre par seconde (m.s^{-1}) d : distance parcourue par le signal sonore en mètre (m)

Δt : durée de propagation du signal sonore en seconde (s) Δ : lettre grecque : delta

La vitesse de propagation d'un signal sonore dans l'air à température ambiante est $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

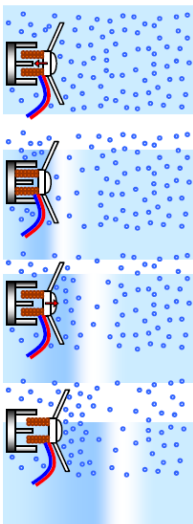
Cette vitesse dépend du milieu traversé et de la température. Dans l'eau, elle vaut environ 1500 m.s^{-1} . Dans l'acier, elle vaut environ 5800 m.s^{-1} .

Exemple : En combien de temps une onde sonore parcourt-elle une distance $d = 10,0 \text{ m}$?

$$\text{Durée de propagation : } \Delta t = \frac{d}{v} = \frac{10,0}{340} = 0,0294 \text{ s} = \underline{2,94 \times 10^{-2} \text{ s}}.$$

Document : Fabriquer un son avec un haut-parleur

Pour créer un son il faut faire osciller les molécules d'un milieu matériel. On peut par exemple utiliser un haut-parleur constitué principalement de 3 éléments : un aimant ①, une bobine de fil en cuivre ② et une membrane ③.



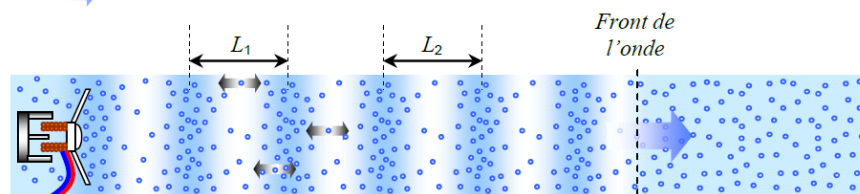
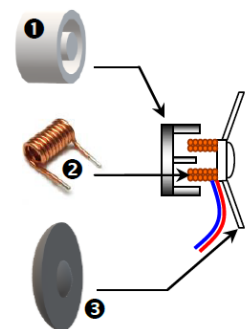
Un signal sonore résulte donc de la mise en vibration des molécules ou des atomes d'un milieu de propagation.

La bobine sur laquelle est fixée la membrane est tantôt entraînée vers l'intérieur de l'aimant, tantôt expulsée de l'intérieur par l'aimant.

Ce mouvement de la membrane entraîne les molécules d'air à son voisinage. Ces dernières se mettent à vibrer à la cadence de la membrane.

Les molécules d'air qui vibrent, perturbent le mouvement de leurs voisines et les font vibrer à leur tour. Le mouvement de vibration se transmet donc, **de proche en proche**, aux molécules suivantes.

Cette transmission correspond à la **vitesse de propagation du son** dans l'air, soit **340 m/s** environ.



Exercice :

Lors d'un feu d'artifice ou d'un éclat de foudre dans le ciel, il peut s'écouler plusieurs secondes entre le moment où l'on perçoit le flash de lumière et le moment où l'on perçoit le son produit par l'explosion. Lors d'un orage, un observateur mesure précisément 5,8 secondes entre le flash de lumière d'un éclair et le son du tonnerre.

Déterminer la distance à laquelle s'est produit l'éclair dans le ciel.

Données :

- Vitesse de la lumière : 300 000 km/s
- Vitesse du son : 340 m/s

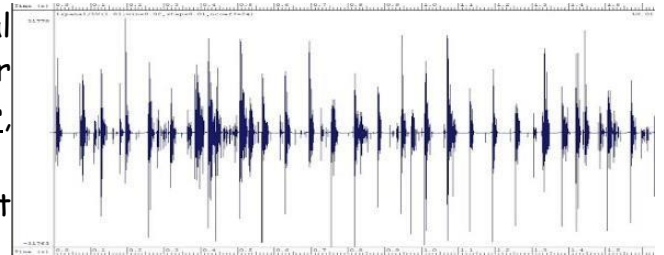
$$d = v \times \Delta t = 340 \times 5,8 = 1972 \text{ m environ } 2\text{km de l'observateur.}$$

II Des signaux sonores particuliers : les signaux périodiques

1) Comment « voir » un signal sonore ?

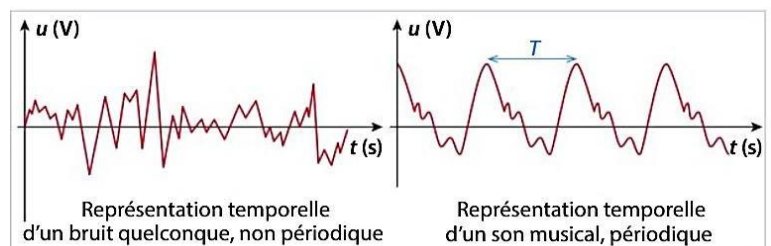
A l'aide d'un micro, on peut transformer un signal sonore en signal électrique. On peut alors visualiser ce signal sur un oscilloscope ou sur un ordinateur, sous la forme d'un graphique.

Les tensions en ordonnée du graphique sont proportionnelles à l'intensité du signal sonore.



2) Période d'un signal sonore

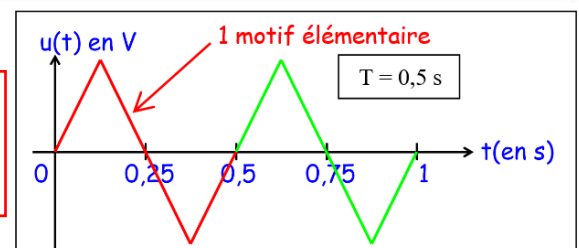
Pour un instrument, on peut constater que certains signaux sont périodiques. Un « morceau » de la courbe se répète régulièrement.



Un signal sonore est **périodique** s'il est constitué d'un motif qui se reproduit identique à lui-même à intervalle de temps régulier.

La **période** d'un signal périodique correspond à la durée d'un motif élémentaire.

La période se note **T** et se mesure en **seconde** (symbole : s).



On utilise souvent des sous multiples de la seconde :

- la **milliseconde** (symbole : ms)
 - la **microseconde** (symbole : μs).
- Rappel : 1 ms = 10^{-3} s et 1 μs = 10^{-6} s.

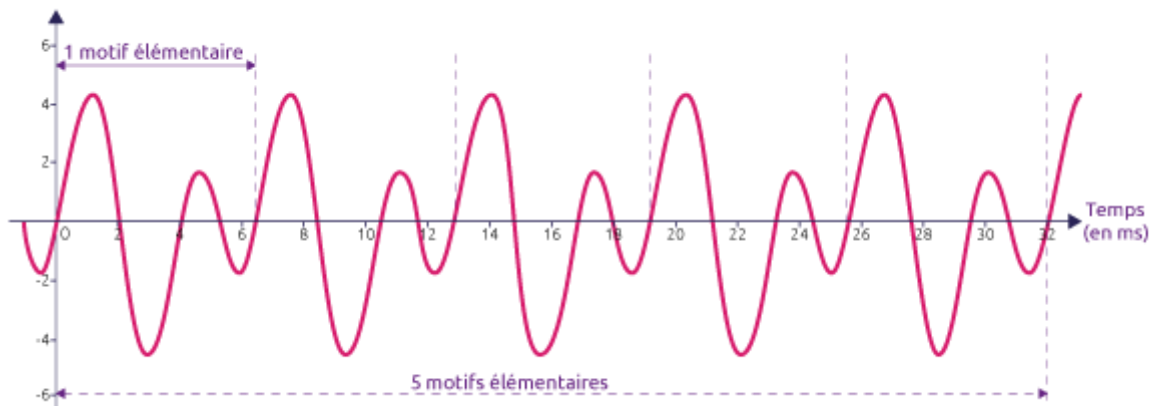
s			ms			μs

Pour convertir la période en seconde :

- utiliser le tableau de conversion
- remplacer « ms » par « $\times 10^{-3}$ s » ou « μs » par « $\times 10^{-6}$ s ».

Exemples : $T = 6 \text{ ms} = 6 \times 10^{-3} \text{ s}$ $T = 20 \mu\text{s} = 20 \times 10^{-6} \text{ s}$

Exercice : déterminer la période de ce signal sonore



Ce signal comporte un motif qui se répète. Il s'agit donc d'un signal sonore périodique. On peut alors estimer la durée d'un seul motif, ce qui revient à estimer la valeur de la période. On détermine pour cela d'abord la durée de plusieurs motifs élémentaires, afin d'avoir une plus grande précision.

On note sur le graphique ci-dessus 5 motifs élémentaires observables qui se répètent, pendant une durée de 32 millisecondes soit 0,032 s.

La valeur de la période de ce signal sonore est donc égale à $T = 0,032/5 = 0,0064 \text{ s} = 6,4 \text{ ms}$

3) Fréquence d'un signal sonore

La **fréquence** correspond au nombre de répétitions du motif élémentaire par seconde. Elle se note f et se mesure en **hertz** (symbole : Hz).

On utilise souvent des multiples du hertz : le **kilohertz** (symbole : kHz), le **mégahertz** (symbole : MHz) et le **gigahertz** (symbole : GHz).

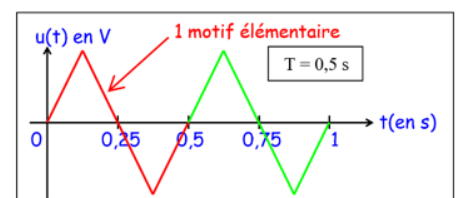
Rappel : $1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$, $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ et $1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$.

G			M			k			H
H			H			H			z
z			z			z			

Sur l'exemple ci-contre :

Période : $T = 0,5 \text{ s}$

Fréquence = nombre de périodes en 1 seconde. En 1 seconde, il y a 2 motifs, donc $f = 2 \text{ Hz}$.



La période est l'inverse de la fréquence

Avec : f : fréquence en hertz (symbole : Hz) T : période en seconde (symbole : s)

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

ou

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

Attention : avant de calculer une fréquence, il faut donc convertir la période T en seconde !

Exercices :

- 1) Calculer la fréquence d'un signal sonore de période $T = 40 \text{ ms}$.

$$T = 0,040 \text{ s donc } f = 1/T = 1/0,040 = 25 \text{ Hz}$$

- 2) Calculer la période d'un signal sonore de fréquence : $f = 50 \text{ Hz}$.

$$T = 1/f = 1/50 = 0,020 \text{ s} = 20 \text{ ms}$$

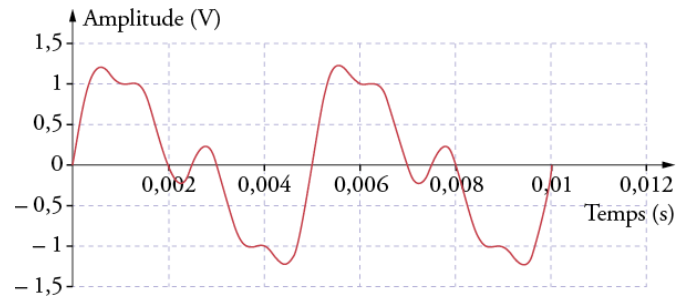
- 3) On considère le signal sonore périodique suivant :

- Quelle est la période T de ce signal ?

$$T = 0,005 \text{ s}$$

- Calculer la fréquence f de ce signal.

$$f = 1/T = 1/0,005 = 200 \text{ Hz}$$



III Perception d'un signal sonore

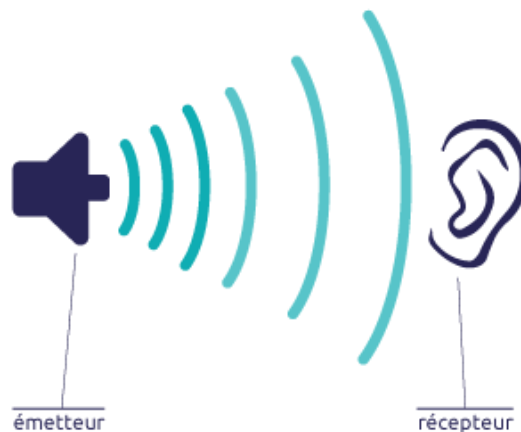
1) Domaines de fréquences audibles

L'oreille ne perçoit que certaines fréquences sonores.



Le domaine de fréquences des signaux sonores audibles est compris entre 20 Hz et 20 kHz. En dessous de 20 Hz, c'est le domaine des infrasons. Au-dessus de 20 kHz, c'est le domaine des ultrasons.

Ces valeurs peuvent varier d'un individu à l'autre et le domaine de fréquences audibles se réduit avec l'âge.



2) Hauteur d'un signal sonore

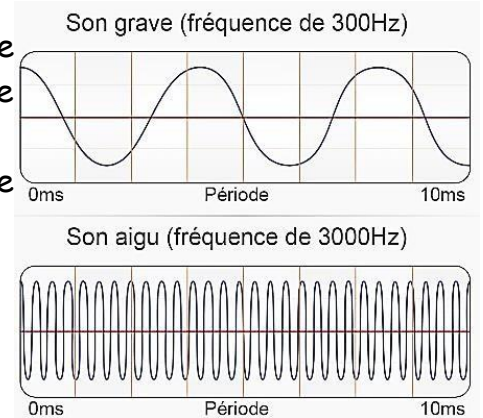
Pour produire la note **La** de fréquence 440 Hz, la corde d'une guitare va réaliser 440 vibrations par seconde qui vont se propager dans l'air.

En musique, une fréquence donnée correspond à une hauteur de son, repérée par une note.

La hauteur d'un signal sonore est la sensation auditive liée à sa fréquence.

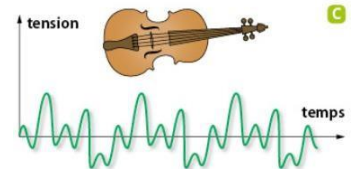
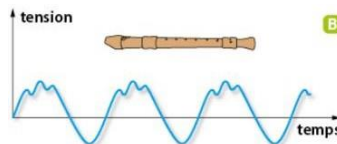
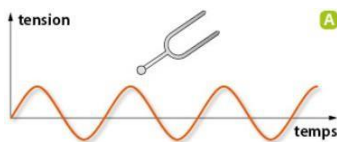
Un signal sonore de faible fréquence donnera un son grave.

Un signal sonore de fréquence élevée donnera un son aigu.



3) Timbre d'un signal sonore

Les enregistrements d'une **même note** jouée par des instruments de musique différents auront la même période, donc la même fréquence, mais les motifs ont des allures différentes. Le son est alors perçu différemment et les instruments sont différenciables à l'oreille. On dit qu'ils ont un timbre différent.



Le timbre est lié à la forme du signal sonore. Il est l'identité sonore d'un instrument de musique ou d'une voix.

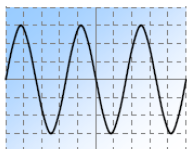
Exercice d'application



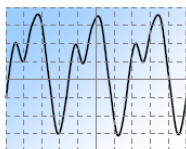
Pour étudier un son émis par un instrument, on visualise le signal électrique créé par un microphone lorsque ce dernier capte le son.

On enregistre ainsi une succession de notes jouées par différents instruments de musique et de différentes manières.

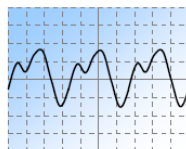
On obtient alors les 7 signaux ci-dessous :



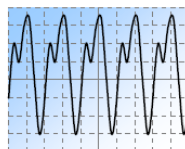
Instrument : DIAPASON
Note : MI 3
Intensité du son : FORT



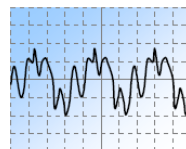
GUITARE
MI 3
FORT



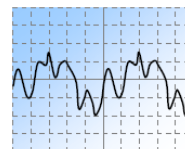
GUITARE
MI 3
FAIBLE



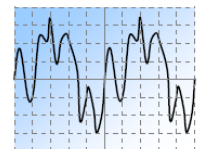
GUITARE
LA 3
FORT



VIOLON
MI 3
FAIBLE



VIOLON
DO 3
FAIBLE

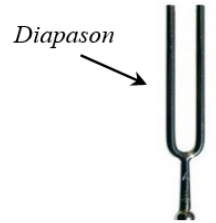


VIOLON
DO 3
FORT

Exercice 2 :

Répondre aux questions suivantes en analysant les signaux donnés ci-dessus.

- Le diapason est réputé émettre un son pur. Quelle est la particularité d'un son pur ?
- Classer les notes jouées de la plus grave à la plus aigue.
- Quel est le point commun des sons joués par un même instrument ?
- Comment se nomme la grandeur physique qui permet de distinguer un son fort d'un son faible ?
- Quelle modification du signal observe-t-on lorsque le son devient plus aigu ?
- Pour quelle note le timbre a-t-il changé ?

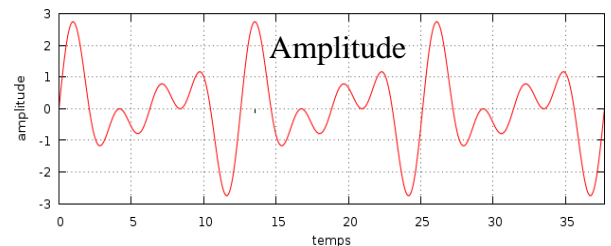


- Son pur : signal purement sinusoïdal.
- Un son grave a une faible fréquence donc une période élevée. Pour un son aigu c'est l'inverse. Donc en classant du plus grave à la plus aigüe on obtient :
DO plus grave que MI plus grave que LA
- Ils ont même période donc même fréquence donc même hauteur.
- C'est intensité sonore (la « force » du son).
- On voit de plus en plus de motifs élémentaires
- La note MI 3 est joué par un violon, une guitare et un diapason. La fréquence est la même mais l'allure du signal est à chaque fois différent. Le timbre est donc différent car l'instrument est différent.

4) Intensité sonore et niveau d'intensité sonore

- L'intensité sonore, notée I

Sur un enregistrement, l'amplitude du signal électrique correspond à sa valeur maximale. Elle est proportionnelle à l'intensité du signal sonore.



L'intensité sonore permet de donner une indication sur la « force » d'un son : plus l'intensité sonore est élevée, plus l'amplitude du signal est grande et plus le son perçu par l'oreille humaine est fort.

Attention ! A ne pas confondre :

- ✓ La hauteur du signal électrique sur le graphique s'appelle l'amplitude du signal.
- ✓ La hauteur d'un son (grave ou aigu) dépend de la fréquence du signal sonore

Remarque : L'intensité sonore s'exprime en watt par mètre carré (W.m^{-2}), l'unité n'est pas à connaître.

Pour mesurer l'intensité sonore, on utilise un **sonomètre**.



- **Le niveau d'intensité sonore, notée L**

L'intensité sonore perceptible prend des valeurs sur un intervalle extrêmement large, avec un facteur de 10^{13} (10 000 milliards !) entre la limite inférieure et la limite supérieure.

De plus, un signal sonore ayant une intensité sonore qui double sera perçu plus fort, mais pas deux fois plus fort par l'oreille ! L'oreille ne réagit donc pas proportionnellement à l'intensité sonore.

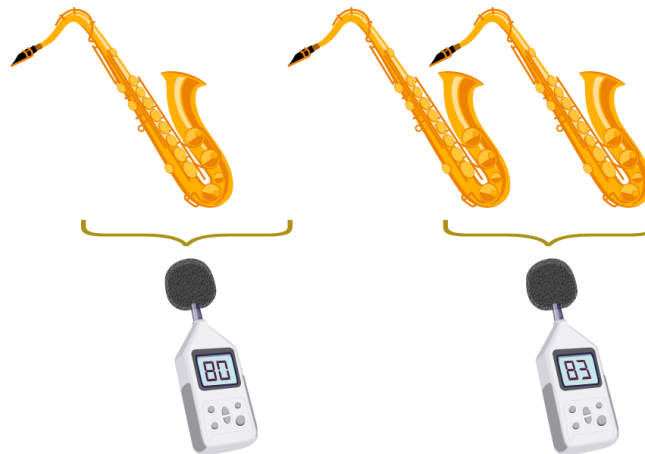
Intensité sonore I ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)	Niveau d'intensité sonore L (dB)
10^{-4}	80
10^{-5}	70
10^{-6}	60
10^{-7}	50
10^{-8}	40
10^{-9}	30
10^{-10}	20
10^{-11}	10
10^{-12}	0

Afin d'utiliser une échelle de grandeur plus simple et liée à la sensibilité de l'oreille humaine, on définit le niveau d'intensité sonore.

> Les valeurs de L , en décibel (dB), sont plus faciles à manipuler que les valeurs de I , en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Le niveau d'intensité sonore augmente avec l'intensité sonore, mais pas de manière proportionnelle. Le niveau d'intensité sonore se note L . Il se mesure en décibel, de symbole **dB, avec un sonomètre.**

Remarque : Si une source sonore est deux fois plus intense, l'intensité sonore est doublée mais le niveau d'intensité sonore perçu augmente seulement de 3 dB. L'oreille ne perçoit pas un son « deux fois plus fort » mais « un petit peu plus fort ».



5) Dangers de l'exposition sonore

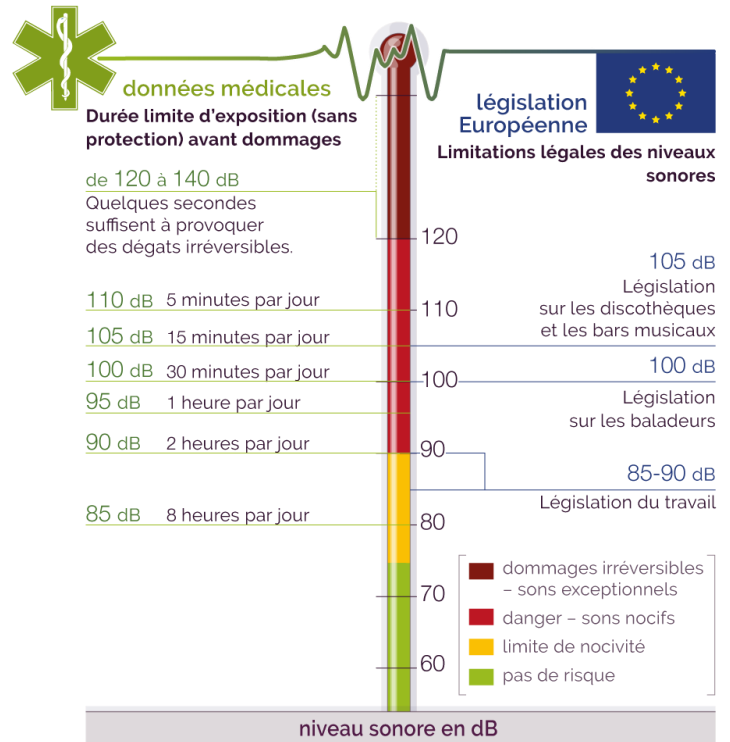
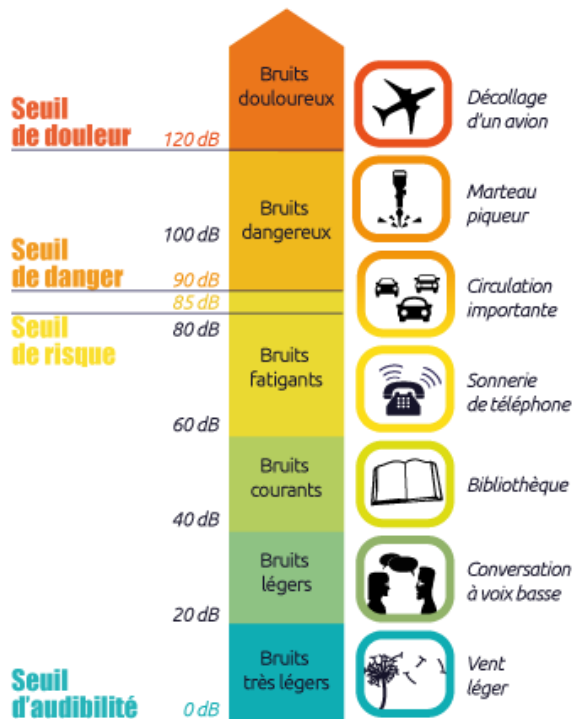
Les sons présentent des risques dès 85 dB et des dommages surviennent à partir de 90 dB, alors que la sensation ne devient douloureuse que vers 120 dB. L'absence de douleur ne garantit donc pas l'absence de danger !

L'exposition sonore tient compte du niveau d'intensité sonore et de la durée d'exposition auxquels l'oreille est soumise.

Une exposition sonore trop importante peut représenter un danger pour l'oreille et peut engendrer une perte d'audition, partielle ou totale.

On définit une échelle de niveau sonore qui précise les conséquences de l'exposition de l'oreille à des sons de différents niveaux :

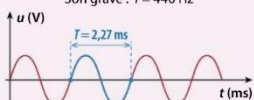
- Le niveau 0 dB est le niveau en dessous duquel une oreille moyenne ne détectera pas le son.
- Au-delà de 110 dB, un son peut provoquer des lésions irréversibles, c'est-à-dire que cela entraîne une perte partielle ou totale d'audition.



Résumé

Hauteur

Fréquence du signal
Son grave : $f = 440 \text{ Hz}$



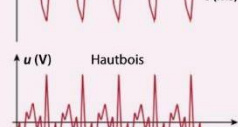
Son aigu : $f = 880 \text{ Hz}$



Fréquence (Hz) $\rightarrow f = \frac{1}{T}$ Période (s)

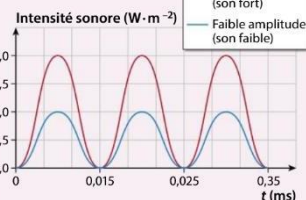
Timbre

Forme de la représentation temporelle



Intensité sonore

Liée à l'amplitude du signal



Niveau sonore

Lié à la perception du son, en décibels (dB_A)

