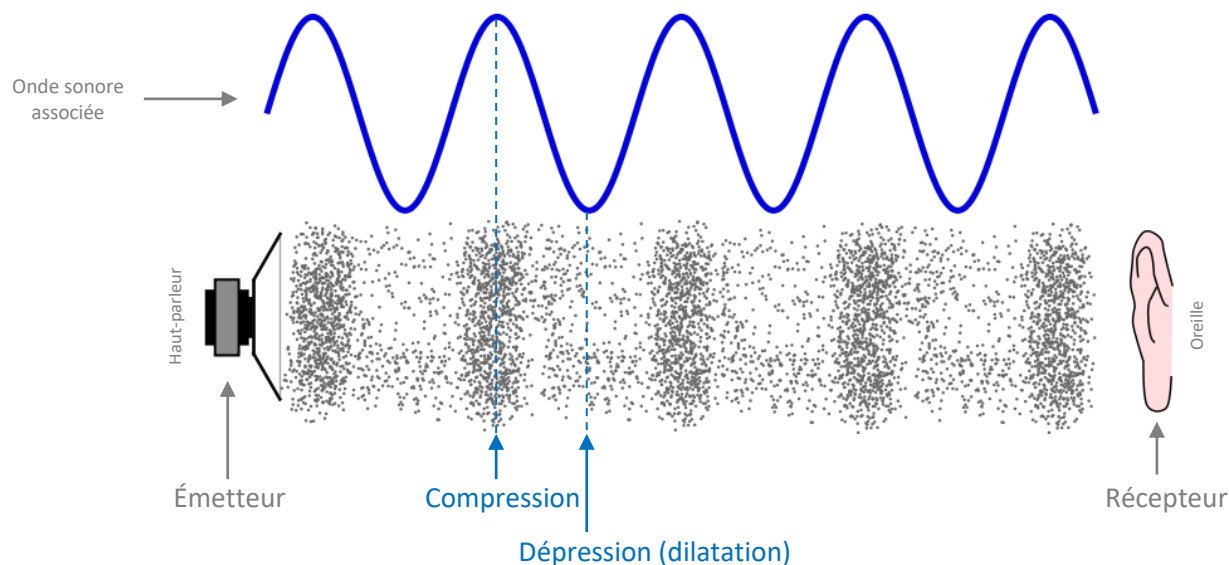


Chapitre 13 : Ondes et signaux

1. Les ondes sonores

1.1. Définition

Un son peut être produit par un objet qui vibre et qui transmet ses vibrations à l'air (ou le milieu) qui l'entoure : on parle d'**onde sonore** :



Définition :

Une onde sonore est la **propagation** de proche en proche, dans un milieu matériel, d'une compression/dilatation du milieu de propagation, sans transport de matière.

A RETENIR :

Une onde sonore se propage dans un milieu solide, liquide ou gazeux mais ne peut pas se propager dans le vide.

1.2. Célérité d'une onde sonore

La célérité (vitesse de déplacement) du son dépend du milieu dans lequel il se propage :

- Elle est plus importante dans les solides que dans les liquides et dans les liquides que dans les gaz ;
- Dans les gaz, la célérité du son augmente de façon non négligeable avec la température ;
- La célérité est constante dans un milieu homogène donné.

Exemples :

	SOLIDE		LIQUIDE		GAZ			
Milieu	Acier	Verre	Eau de mer	Eau douce	Hydrogène	Hélium	Air (20°C)	Air (0°C)
Vitesse du son (m.s^{-1})	5000	5640	1560	1440	1300	972	340	331

A RETENIR :

La célérité du son dans l'air est de l'ordre de 340 m.s^{-1} .

Remarques :

- Un son (onde sonore) nécessite un milieu matériel pour se propager : **il ne peut donc pas se propager dans le vide** ;
- Un **microphone** permet de transformer une onde sonore en un signal électrique que l'on peut visualiser ;
- Beaucoup d'instruments de musique possèdent une caisse de résonance qui est mise en vibration par un objet émetteur (corde d'une guitare, peau d'un djembé, etc.), initialement excité par le musicien, et favorise la transmission du son à l'air ;

- Le nombre de Mach est un nombre sans dimension, noté Ma, qui exprime le rapport de la vitesse locale d'un fluide (par exemple l'air) sur la vitesse du son dans ce même fluide. Par extension, on peut associer un nombre de Mach à un objet se déplaçant dans un fluide. Ainsi, on dit d'un avion qu'il vole à « Mach 1 » si sa vitesse est égale à celle du son, à « Mach 2 » si sa vitesse correspond à deux fois la vitesse du son, et ainsi de suite.

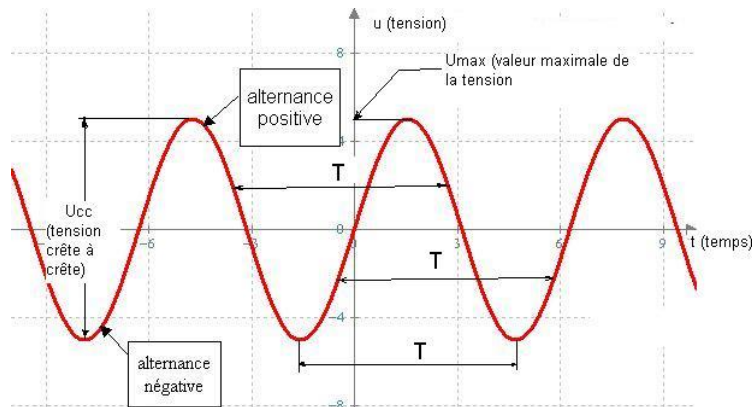
$$\text{« Mach 1 »} \Leftrightarrow v = 340 \text{ m/s} = 1\,224 \text{ km/h}$$

2. Les ondes sonores périodiques

Définition :

On appelle **phénomène périodique**, un phénomène qui se reproduit **identique à lui-même** au bout d'un **même intervalle de temps**.

2.1. La période



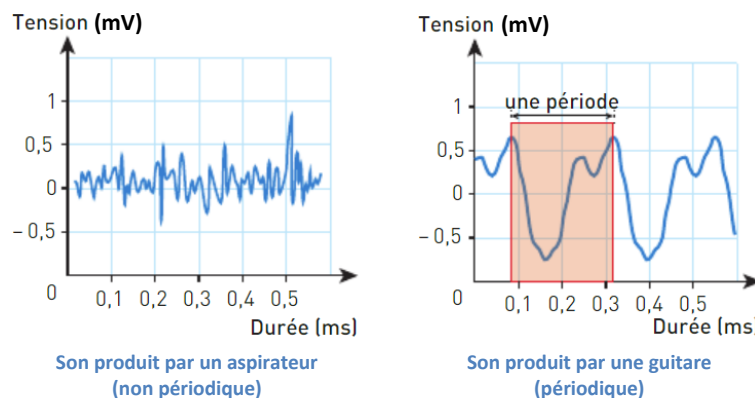
↳ La période T correspond à la durée d'un motif

Définition :

La période est la durée qui s'écoule jusqu'à ce que la grandeur reprenne la même valeur, en variant dans le même sens. Elle se note **T** et s'exprime, dans le Système internationale des unités (SI), en **seconde** (symbole : s).

Remarque : pour une détermination expérimentale **plus rigoureuse** de la période d'un signal (sonore ou autre), il est préférable de mesurer la durée de plusieurs motifs (\Leftrightarrow plusieurs périodes) puis diviser cette durée par le nombre de motifs afin de déterminer, avec plus de précision, la valeur de la période de ce signal.

Exemples :



2.2. La fréquence

La fréquence d'un son périodique est égale à la fréquence des vibrations de l'objet qui émet le son.

Définition :

La fréquence correspond au **nombre de fois par seconde qu'un évènement se reproduit à l'identique**, elle se note **f** et s'exprime, dans le Système internationale des unités (SI), en **Hertz** (symbole : Hz).

Elle est liée à la période par la relation :

$$f = \frac{1}{T} \quad \left\{ \begin{array}{l} T \text{ en s} \\ f \text{ en Hz} \end{array} \right. \quad \Leftrightarrow \quad T = \frac{1}{f}$$

Remarque : la valeur de la fréquence f , exprimée en Hertz, représente aussi le nombre de motifs par seconde.

Exercice n°1 : un adolescent au repos a un rythme cardiaque de 72 battements par minute. Calculer la fréquence des battements ?

Réponse : la durée d'un battement est $T = 60 / 72$ donc la fréquence sera $f = 72 / 60 = 1,2 \text{ Hz}$ (1,2 battements / s)

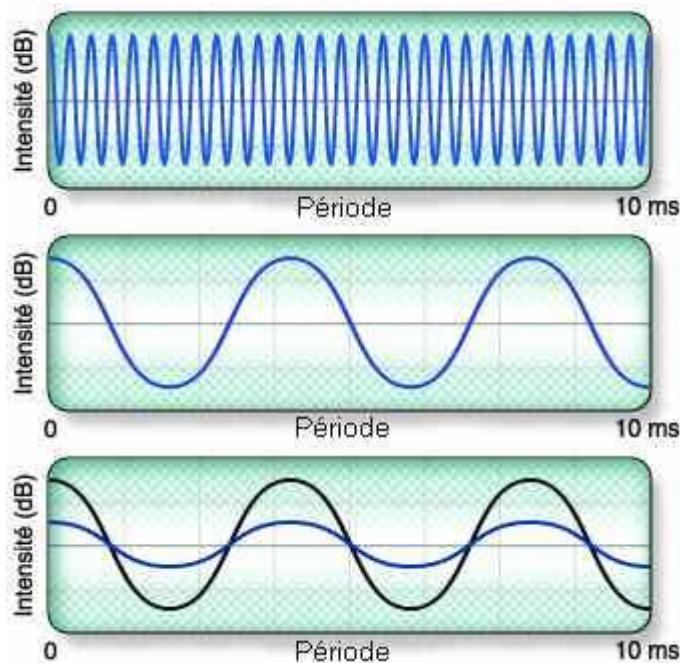
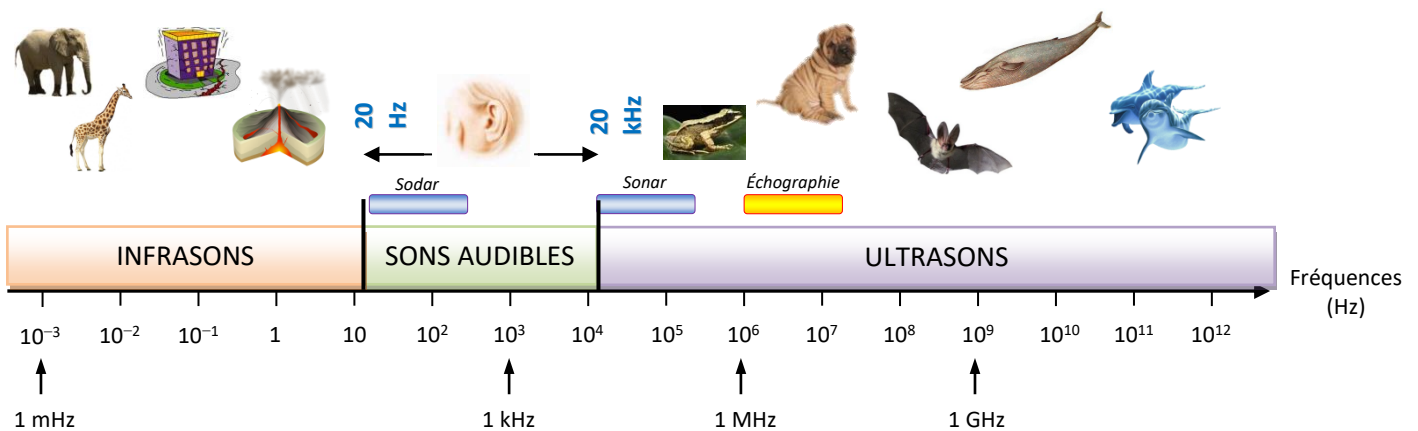
Exercice n°2 : au cinéma, le projecteur projette sur l'écran, 24 images par seconde. Quelles sont la fréquence et la durée entre deux images sur l'écran (période) ?

Réponse : la fréquence est $f = 24 \text{ Hz}$ donc la période sera $T = 1 / f$ soit $T = 1 / 24 \approx 0,042 \text{ s} = 42 \text{ ms}$.

3. Perception d'un son

La plupart des signaux sonores produits par les instruments de musique sont complexes. Pour les décrire, les musiciens leur associent des caractéristiques qu'on appelle « **caractéristiques physiologiques** » et qui sont la **hauteur**, le **timbre**, l'**enveloppe** et l'**intensité**. Ces caractéristiques sont associées à des grandeurs physiques qui ont une influence sur la perception auditive.

3.1. Domaine de fréquences



Son aigu

Cette sinusoïde représente un son pur correspondant à une fréquence de 3000 Hz.

⇒ A une fréquence élevée correspond un son aigu.

Son grave

Cette sinusoïde représente un son pur correspondant à une fréquence de 300 Hz.

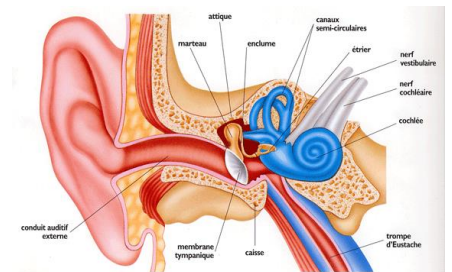
⇒ À une fréquence faible correspond un son grave.

Sons fort (noir) et faible (bleu)

Ces sinusoïdes représentent des sons de même fréquence (300 Hz), mais d'intensités différentes.

A RETENIR :

L'appareil auditif (oreille) est un récepteur sensible à des ondes sonores dont les fréquences (longueurs d'onde) sont comprises entre 20 Hz et 20 kHz environ. On parle alors de **sons audibles**.

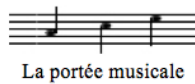


3.2. Hauteur d'un son

La **hauteur** d'un son correspond à la **fréquence de l'onde sonore**, elle est associée au nom de la note jouée (*do, ré, mi, ...* d'une certaine octave) en musique.

Remarques :

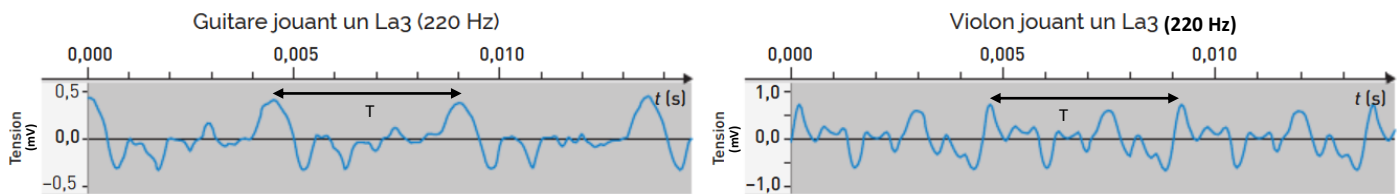
- La hauteur d'un son est la caractéristique qui permet de dire si un son est **aigu** ou **grave** ;
- Lorsque les sons musicaux se succèdent ou se superposent, l'oreille est sensible au rapport de leur hauteur, ce qui fait que certains enchaînements de sons musicaux sont agréables à l'oreille, ou non ;
- Le terme « hauteur » vient du fait que les notes sont écrites sur une portée musicale de telle manière que la position verticale de la note sur la portée correspond à son nom.



3.3. Timbre d'un son

Deux sons musicaux correspondant à une même note (même fréquence fondamentale), mais émis par deux instruments différents, ne sont pas perçus de la même façon par l'oreille : on dit alors que ces deux sons n'ont pas le même **timbre**.

Exemple :



Enregistrements d'une même note jouée par deux instruments différents : la période (hauteur) est la même mais la forme du motif est différente car le timbre est différent

3.4. Intensité d'un son

Lorsqu'une onde sonore est émise avec une certaine « force » (appelée puissance acoustique P) par une source, elle se propage uniformément dans toutes les directions de l'espace qui lui sont offertes.

- On définit l'**intensité acoustique** (ou **sonore**), notée I , par la puissance acoustique (ou puissance sonore) reçue par unité de surface du récepteur ; elle s'exprime en **watt par mètre carré** (symbole : $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$). Elle permet de différencier un son perçu comme fort d'un son faible : **elle augmente avec l'amplitude de l'onde sonore** ;
- Le système auditif humain est d'une très grande sensibilité : il peut détecter des sons provoquant des déplacements du tympan de l'ordre de 10 nm !

→ La sensation auditive n'est pas proportionnelle à l'intensité acoustique I : elle est liée au niveau d'intensité acoustique. Le **niveau d'intensité acoustique (ou sonore)** se note L (L comme « level » en anglais) et s'exprime en décibel (symbole : dB).

Remarques :

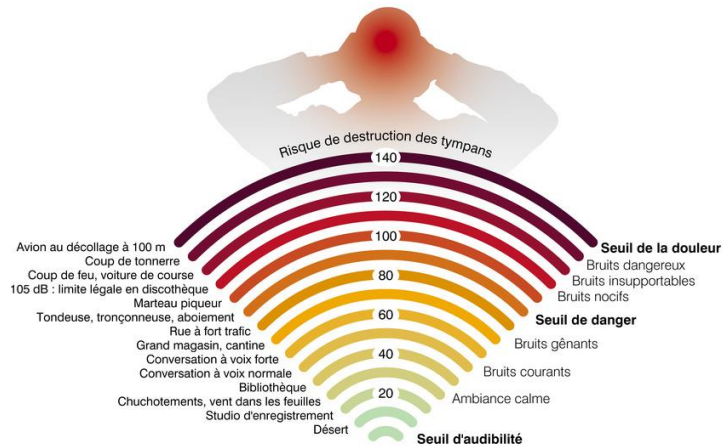
- Sur un instrument de musique, l'utilisation d'une **caisse de résonance** a pour rôle de recevoir et d'amplifier les vibrations produites par la ou les corde(s), ou par la membrane de l'instrument : cette partie creuse transmet les vibrations au volume d'air qu'elle contient afin de transformer ces dernières en son musicalement satisfaisant et amplifié. Le timbre, l'intensité et la durée du son obtenu dépendent du volume, de la forme et de la matière utilisés pour la caisse de résonance ;
- Quand l'intensité acoustique est multipliée par deux, le niveau d'intensité acoustique augmente de 3 dB ;
- Ce que l'oreille perçoit réellement, et que l'on mesure, est le **niveau de pression acoustique (ou sonore)** L_w , qui s'exprime en **décibel A** (symbole : **dB[A]**).

3.5. Dangers

L'utilisation prolongée d'écouteur est risquée : plus un son est intense et plus la durée d'exposition doit être courte. C'est pourquoi les normes européennes imposent aux constructeurs de limiter le niveau sonore à 100 dB avec une obligation de validation par l'utilisateur dès qu'il dépasse 85 dB.

→ Les lésions causées aux oreilles sont irréversibles (destruction définitive de cellules sensorielles) il est donc indispensable de prendre soin de ses oreilles pour avoir une bonne ouïe tout au long de sa vie.

Les sons présentent des risques dès 85 dB, des dommages (surdité partielle ou totale, hyperacousie, acouphènes) surviennent   partir de 90 dB alors qu'ils deviennent réellement douloureux qu'au-delà de 120 dB :



	Niveau sonore (décibels)	Durée maximale d'exposition par jour
Seuil de douleur	140	
	130	
Seuil de danger	120	< 1 s
	110	90 s
	100	10 min
	90	2 h
	80	
	70	
	60	
	50	
	40	
	30	
	20	
	10	