

# Ondes sonores et Ultrasons

(Mme. Bouhedja)

## I-Acoustique Physique :

L'acoustique est l'étude des propriétés des ondes sonores, de leur production, de leur propagation et de leurs effets.

### 1. Les Ondes sonores: Définitions

- Une onde est une perturbation qui se propage. Si le milieu est homogène et isotrope, l'onde se déplace dans toutes les directions à la même vitesse  $v$ .
- Onde longitudinale → la déformation (ex. pression ou déplacement) est parallèle à la direction de propagation.
- Onde transversale la déformation (ex. pression ou déplacement) est perpendiculaire à la direction de propagation.
- Dans un fluide, les ondes sonores sont tjrs longitudinales.
- Dans un milieu solide → ondes longitudinale + transversale.

### 2. Ondes périodiques :

- Une onde est périodique de période  $T$  si, pour tout temps  $t$ , l'amplitude de la déformation à l'instant  $t+T$  est la même qu'à l'instant  $t$ .
- Longueur d'onde  $\lambda$ , est la distance parcourue par l'onde pendant une période:  $\lambda = vT$
- La fréquence  $\nu$  est le nombre d'oscillations effectuées par unité de temps:  $\nu = 1/T$   
 $v = \lambda\nu$

### Définition: Sons et Ultrasons :

- Les sons et les ultrasons sont de même nature physique.

Sons audibles : 20 Hz à 20 KHz

Ultrasons : 20 KHz à quelques GHz.

- C'est un mouvement vibratoire mécanique qui se transmet de proche en proche dans un milieu matériel. Les sons ne se propagent pas dans le vide.
- Un son est une sensation auditive engendrée par une onde acoustique. Cette onde est générée par une vibration (cordes vibrantes, cordes vocales, membrane d'un haut-parleur,...). Vibration qui va créer un déplacement de particules du milieu de propagation (air, eau,...) autour d'une position d'équilibre.

### Classification des sons :

#### a) Les sons purs:

La vibration des particules est caractérisée par l'équation de type:

$$x = A \sin(2\pi\nu t) \quad \text{et} \quad \lambda = cT = v/\nu$$

$x$ : position

$A$  : amplitude du mouvement

$\nu$  : Fréquence de vibration

$t$  : temps

$\lambda$ : Longueur d'onde

$c$  : célérité du son

## Remarques :

### o Notion de phase:

Deux sons purs peuvent entraîner les mêmes déplacements longitudinaux sur les particules d'un même milieu commun, mais ces mouvements peuvent être entraînés dans le temps. Entre  $x_1 = A \sin(\omega t)$  et  $x_2 = A \sin(\omega t + \theta)$  Même mouvement des particules mais le second mouvement est en avance sur le premier d'un temps:  $t = \frac{\theta}{\omega}$

La propagation du son se fait par transmission de vibrations d'une particule matérielle à sa voisine: il faut distinguer:

- **vitesse vibratoire ou vitesse instantanée:** vitesse locale d'une particule mise en mouvement de vibration:  $v = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos(\omega t)$

- **célérité du son:** célérité de la propagation de l'onde sonore le long de la direction.

Si le milieu est isotrope, la célérité ne dépend que des caractéristiques du milieu:

Les sons vont d'autant plus vite que les milieux sont solides.

- o Dans l'air:  $c = 330$  à  $340$  m/s
- o Dans l'eau:  $c = 1450$  m/s
- o Dans le tissu mou:  $c = 1540$  m/s
- o Dans l'os:  $c = 3300$  m/s

### b) Les sons complexes :

Sont produits par des particules animées de mouvements périodiques mais qui ne sont plus sinusoïdaux.

### c) Les bruits:

Sont dus à des vibrations non périodiques.

## Pression, impédance et puissance acoustiques :

### a) Pression acoustique :

Le long de l'axe de propagation du son, les particules subissent un déplacement vibratoire sinusoïdal autour de leur position de repos, leur densité sur cet axe varie, faisant apparaître des régions plus denses et d'autres moins denses qu'à l'état de repos.

→ Des variations de pression autour de la pression atmosphérique, donc des surpressions et des dépressions par rapport à la pression de base. Cette variation est appelée la pression acoustique.  $P = \rho v c$

$\rho$ : Masse volumique

$v$ : vitesse acoustique

$c$ : célérité acoustique

La pression acoustique est faible devant la pression atmosphérique de  $2 \cdot 10^{-5}$  à  $20$  Pa (par rapport à  $1,013 \cdot 10^5$  Pa), soit une variation d'un rapport de  $10^6 \rightarrow$  logarithme

### b) Impédance acoustique :

Une grandeur très importante pour la caractérisation du milieu.

$$Z = P/v = \rho c$$

Z: impédance acoustique

P: pression acoustique

v: vitesse vibratoire

c: célérité

$\rho$ : Masse volumique

Quelques valeurs d'impédance acoustique :

Air :  $z = 0,04 \times 10^3 \text{ g.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$

Eau :  $z = 1,48 \times 10^3 \text{ g.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$

Foie :  $z = 1,65 \times 10^3 \text{ g.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$

Os :  $z = 7,5 \times 10^3 \text{ g.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$

**c) Puissance acoustique (ou puissance surfacique en Watt/m<sup>2</sup>) :**

La puissance acoustique d'un son pur est toujours rapportée à l'unité de surface.

$$W = \frac{d(\text{travail})}{S \cdot dt} = \frac{F \cdot dx}{S \cdot dt} = \frac{P \cdot S \cdot dx}{s \cdot dt} = P \cdot v = v^2 \cdot \rho \cdot c$$

Comme  $v = P/\rho c \rightarrow W = P^2/\rho c$

**Puissance acoustique :**

**Niveau sonore :**

La mesure du niveau de puissance acoustique se fait tjrs par comparaison avec un son de référence tel que:  $W_0 = 10^{-12} \text{ Watt/m}^2$  comme l'échelle de  $W/W_0 \rightarrow 10^{12}$

→ Unité de mesure de niveau de puissance acoustique = le logarithme décimal du rapport  $W/W_0 = \text{Bel}$

En prenant comme niveau de référence, la puissance acoustique d'un son pur de 1000Hz juste audible  $W_0 = 10^{-12} \text{ Watt/m}^2$

$$I = \text{Log } W/W_0$$

C'est le niveau d'intensité sonore exprimé en Bels et varie de 0 à 12.

Pour affiner la sensibilité à l'échelle, on utilise le dixième de Bels (décibels ou dB)

$$I_{dB} = 10 \text{ Log } \frac{W}{W_0}$$

L'échelle est comprise entre 0 à 120.

Quelques exemples de niveaux sonores:

0 dB → seuil d'audibilité

20 dB → voix basse

90 dB → motocyclette

130 dB → avion à réaction