

# CHAPITRE 1. NOTIONS GÉNÉRALES D'ACOUSTIQUE

## I.1 Introduction

Les ondes acoustiques sont présentes partout autour de nous dans la nature, la musique, on s'en sert aussi en médecine pour des applications d'échographie, ou comme système de détection dans les SONAR, et encore dans d'autres thématiques comme la thermo-acoustique, qui permet la conversion d'énergie acoustique en énergie thermique.

## I.2 Principes physiques

Le son est produit par une vibration : tout élément matériel qui se déplace alternativement engendre une vibration de l'air, se traduisant par des compressions et des dilatations. On observe :

- Une modification de la pression.
- Un mouvement vibratoire de l'air.

De proche en proche, la vibration se propage d'une molécule à l'autre : c'est la propagation.

Pour qu'il puisse y avoir propagation d'une onde acoustique, il faut un milieu matériel (le son ne se propage pas dans le vide) :

- Dans les fluides (air, eau, . . .), les ondes sont de type longitudinal : le mouvement des particules s'effectue dans le sens de la propagation.
- dans les solides, la présence de forces de cisaillement dues à la structure microscopique de ces éléments entraîne des ondes transversales, s'ajoutant aux ondes longitudinales.

Une onde est la propagation d'une perturbation produisant sur son passage une variation réversible de propriétés physiques locales. Le passage de l'onde s'accompagne d'un transport d'énergie sans transport de matière. Physiquement parlant, une onde est un champ, c'est à dire une zone de l'espace dont les propriétés sont modifiées, (en physique, on affecte à chaque point de l'espace des grandeurs physiques scalaires ou vectorielles, comme la pression, le champ électrique, etc.). Le milieu de propagation d'une onde peut être tridimensionnel (onde sonore, lumineuse, etc.), bidimensionnel (onde à la surface de l'eau), ou unidimensionnel (onde sur une corde vibrante). La vitesse de propagation d'une onde dépend en général du milieu de propagation.

## I.3 Pression, vitesse particulière, intensité et puissance acoustique

Les vibrations acoustiques dans l'air se traduisent en un point par des fluctuations rapides de la pression autour de la pression atmosphérique  $P_0$  (pression statique). On a donc :

$$P_{total} = P_0 + p(t) \quad (1.1)$$

Où  $p(t)$  est la pression acoustique. L'oreille n'est sensible qu'aux fluctuations de pression, c'est-à-dire à  $p(t)$ . L'ordre de grandeurs de  $P_0$  et  $p(t)$  sont très différents : la pression statique

## CHAPITRE 1. NOTIONS GÉNÉRALES D'ACOUSTIQUE

est  $P_0$  (sous conditions atmosphériques classiques) égales à  $1.013 \times 10^5 P_a$ , alors que les fluctuations acoustiques dépassent rarement quelques dizaines de  $P_a$ . La pression efficace  $p_{eff}$  entre les instant  $t_1$  et  $t_2$  est définie par :

$$p_{eff}^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p(t)^2 dt \quad (1.2)$$

Dans le cas d'un son pur (une seule fréquence), on montre que la pression efficace est :

$$p_{eff} = \frac{p_{max}}{\sqrt{2}} \quad (1.3)$$

La vitesse particulière est la vitesse instantanée des particules d'air, notée  $u(t)$ . Alors que  $p(t)$  est une grandeur scalaire, la vitesse particulière est une quantité vectorielle.

**Remarque :** Il ne faut pas confondre la vitesse particulière avec la vitesse de propagation.

Cette dernière grandeur caractérise la vitesse de propagation de la perturbation ( $c_0 = 343$  m/s dans l'air), soit un transport d'énergie, alors que la vitesse particulière (de l'ordre d'1 m/s) caractérise un mouvement de matière.

La pression acoustique n'est pas une donnée suffisante pour d'écrire totalement une source sonore, car elle ne donne pas d'indication sur l'énergie acoustique totale émise. On introduit donc la notion d'intensité acoustique. Par définition, l'intensité acoustique est l'énergie acoustique qui traverse une unité de surface par unité de temps (flux de puissance) :  $W/m^2$

En général, on cherche une composante selon une direction donnée. En pratique, on s'intéressera à la valeur moyenne dans le temps de l'intensité instantanée (c'est elle qu'on appelle "intensité").

$$\vec{I} = p_s \times \vec{u} \quad (1.4)$$

Avec  $p_s$  : puissance acoustique,  $\vec{u}$  direction donnée.

Pour connaître la puissance acoustique totale rayonnée par une source (haut-parleur, machine, ...) à travers une surface  $S$  donnée, il faut intégrer  $\vec{I}$  sur cette surface :

$$W = \int \vec{I} \cdot d\vec{S} \quad (1.5)$$

En pratique, on discrétise l'espace en  $n$  parcelles de surface identique  $\Delta S$ , en prenant la valeur moyenne de l'énergie traversant chacune de ces parcelles :

$$W = \Delta S \cdot \sum_n \vec{I}_n \quad (1.6)$$

## I.4 La vitesse du son

La vitesse du son, généralement noté  $c_0$ , dépend du milieu de propagation, ainsi que de l'état de ce milieu. Dans l'air, la vitesse de propagation dépend principalement de la température

(Voir tableau 1.1) ; on a approximativement :

$$c_0 = 20.05\sqrt{T} \quad (1.7)$$

Où  $T$  est la température en Kelvin.

**Tableau 1.1 – Vitesse du son dans l'air en fonction de la température**

Température [ $^{\circ}C$ ]	$c_0[m. s^{-1}]$
$-10^{\circ}C$	$325.2m. s^{-1}$
$0^{\circ}C$	$331.4m. s^{-1}$
$10^{\circ}C$	$337.3m. s^{-1}$
$20^{\circ}C$	$343.2m. s^{-1}$
$30^{\circ}C$	$349.0m. s^{-1}$

## 1.5 Fréquence, pulsation, longueur d'onde et nombre d'onde

La fréquence est le nombre de fluctuations par seconde. Elle est exprimée en Hertz (Hz).

L'oreille est sensible aux sons entre 20 et 20000 Hz (voir tableau 1.2). On distingue plusieurs classes de sons en fonction de leur contenu fréquentiel :

- Les sons purs :  $p(t)$  varie de façon sinusoïdale, à une fréquence  $f$ . Un son pur ne contient donc qu'une seule fréquence (voir **Figure 1.1**).
- Les sons périodiques : le signal temporel est périodique. En fréquence, on peut d'écrire le signal comme la somme de différentes fréquences (somme de plusieurs sons purs). Exemples : Les sons d'un violon ou celui d'une voyelle longue sont des sons périodiques
- Bruits : le bruit est une variation aléatoire de la pression acoustique : aucune périodicité dans le signal et pas de hauteur (ou fréquence) précise. Les bruits les plus courants sont les bruits blancs (même énergie pour toutes les fréquences) et le bruit rose (même énergie pour toutes les bandes de fréquences).

La pulsation, notée  $\omega$  est relié à la fréquence  $f$  par  $\omega = 2\pi f$ . L'unité de la pulsation est le *radians*.  $s^{-1}$ . On utilise parfois la pulsation plutôt que la fréquence pour des raisons pratiques, mais elles diffèrent uniquement par un facteur  $2\pi$ .

La longueur d'onde, notée  $\lambda$ , dépend de la fréquence  $f$  et de la vitesse du son :  $c_0$

$$\lambda = \frac{c_0}{f} \quad (1.8)$$

## CHAPITRE 1. NOTIONS GÉNÉRALES D'ACOUSTIQUE

Son unité est le mètre ;  $\lambda$  représente le nombre d'oscillations par mètre.

**Remarque :** la longueur d'onde dépendant de la vitesse du son, on voit qu'un son a une longueur d'onde différente suivant le milieu on l'on se trouve.

**Exemple :** pour un son de fréquence  $f = 500 \text{ Hz}$  :

1. Dans l'air  $c_0 = 340 \text{ m.s}^{-1} \rightarrow \lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{340}{500} = 68 \text{ cm}$ .
2. Dans l'eau  $c_0 = 1500 \text{ m.s}^{-1} \rightarrow \lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{1500}{500} = 3 \text{ m}$ .

Une oscillation complète se fera donc sur une distance environ trois fois plus grande dans l'air que dans l'eau.

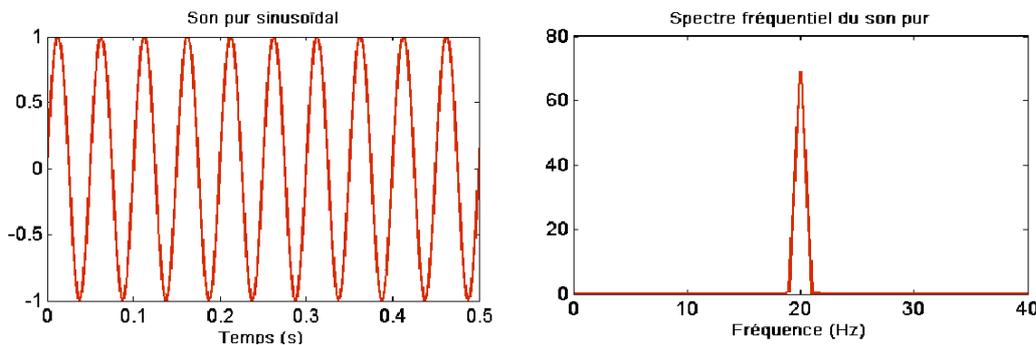
Le nombre d'ondes, note  $k$ , est défini par :

$$k = \frac{\omega}{c_0} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1.9)$$

L'unité du nombre d'ondes est le mètre.

**Tableau 1.2 – Les différentes gammes de fréquences.**

< 20Hz	20 à 500 Hz	500 à 2000Hz	2000 à 20000Hz	> 20000
Infrasons	Basses	Médiums	Aigus	Ultrasons



**Figure 1.1 – Exemple de son pur (à gauche) et son contenu fréquentiel (à droite).**

### 1.6 Impédance acoustique

L'impédance acoustique est la quantité qui relie la pression acoustique et la vitesse particulaire. Cette grandeur peut être un nombre complexe. Donnée par la relation suivante:

$$Z = \frac{p}{u} \quad (1.9)$$

Avec  $p$  : pression acoustique ,  $u$  : vitesse particulaire