

# Ondes acoustiques

June 7, 2025

## Référence

Expérience :

- Mesure de la célérité du son dans l'air (mesurer la température aussi)
- Mesure de vitesse par effet Doppler

Livre :

- Physique PC/PC\* Tout-en-un, Dunod, 2016
- Acoustique des instruments de musique, A. Chaigne, J. Kergomard

Pré-requis :

- 

## Introduction

### 1 Propagation des ondes sonores

#### 1.1 Approximation acoustique

On considère un fluide parfait pour lequel on néglige l'influence de la pesanteur.

Le fluide au repos a pour caractéristique :

- la pression  $P_0$
- la masse volumique  $\rho_0$
- une vitesse particulaire nulle

L'approximation acoustique consiste à considérer que l'onde sonore est une perturbation par rapport à l'état d'équilibre. Ainsi on définit :

- la pression  $P(M, t) = P_0 + p_1(M, t)$  avec  $|p_1(M, t)| \ll P_0$
- la masse volumique  $\rho(M, t) = \rho_0 + \rho_1(M, t)$  avec  $|\rho_1(M, t)| \ll \rho_0$
- la vitesse particulaire  $\vec{v}(M, t) = \vec{0} + \vec{v}_1(M, t)$  avec  $\|\vec{v}_1(M, t)\| \ll c$  où  $c$  est une vitesse caractéristique que l'on définira par la suite

#### 1.2 Conservation de la masse

L'équation de conservation de la masse est :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}(M, t) + \operatorname{div}(\rho \vec{v})(M, t) = 0$$
$$\frac{\partial(\rho_0 + \rho_1)}{\partial t}(M, t) + \operatorname{div}((\rho_0 + \rho_1)\vec{v}_1)(M, t) = 0$$

À l'ordre 1, on obtient :

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t}(M, t) + \rho_0 \operatorname{div}(\vec{v}_1)(M, t) = 0$$

### 1.3 Équation d'Euler

Pour un fluide parfait où on néglige la pesanteur, l'équation d'Euler est :

$$\rho(M, t) \left( \frac{\partial \vec{v}}{\partial t}(M, t) + \left( \vec{v} \cdot \overrightarrow{grad} \right) \vec{v}(M, t) \right) = -\overrightarrow{grad}P(M, t)$$
$$(\rho_0 + \rho_1) \left( \frac{\partial \vec{v}_1}{\partial t}(M, t) + \left( \vec{v}_1 \cdot \overrightarrow{grad} \right) \vec{v}_1(M, t) \right) = -\overrightarrow{grad}(P_0 + p_1)$$

À l'ordre 1, on obtient :

$$\rho_0 \frac{\partial \vec{v}_1}{\partial t}(M, t) = -\overrightarrow{grad}(p_1)$$

### 1.4 Équation d'état du fluide

Pour un fluide, on peut supposer que son comportement est décrit par une équation reliant la masse volumique et la pression :

$$\rho = f(P)$$

$$\rho = f(P_0 + p_1)$$

Avec un développement limité à l'ordre 1, on obtient :

$$\rho = f(P_0) + f'(P_0)p_1$$

$$\rho = \rho_0 + \left( \frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_{P=P_0} p_1$$

Ainsi  $\rho_1 = \left( \frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_{P=P_0} p_1$  que l'on peut écrire comme :

$$\rho_1(M, t) = \rho_0 \chi_0 p_1(M, t) \text{ où } \chi_0 = \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_{P=P_0} \text{ est la compressibilité isentropique}$$

### 1.5 Équation d'onde

Vérifier le programme pour savoir si il faut se placer dans un cas unidimensionnel

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t}(M, t) + \rho_0 \operatorname{div}(\vec{v}_1)(M, t) = 0$$

$$\rho_0 \frac{\partial \vec{v}_1}{\partial t}(M, t) = -\overrightarrow{grad}(p_1)$$

$$\rho_1(M, t) = \rho_0 \chi_0 p_1(M, t)$$

Avec les 3 équations précédentes, on obtient finalement :

$$\frac{\partial^2 p_1}{\partial t^2}(M, t) = c^2 \Delta p_1(M, t) \text{ où } c = \frac{1}{\sqrt{\rho_0 \chi_0}}$$

## 2 Application à l'effet Doppler

### 2.1 Principe de l'effet Doppler

À faire

### 2.2 Mesure par détection synchrone

Manip expérimentale de mesure de c et de la mesure de vitesse du banc

## Expérience quantitative

### Objectif de l'expérience

Mesure de la vitesse du déplacement du banc

### Matériels

- Banc Doppler
- Émetteur à ultrasons
- Banc d'optique + pieds
- GBF
- Multiplieur

- Oscilloscope
- Boite à décades de résistance et de capacité
- Chronomètre
- Règle
- Thermomètre (de type thermocouple)
- Alimentation symétrique  $+15/-15V$
- Pieds d'optique

## **Protocole**

Mesurer la célérité du son avec le banc d'optique -> comparaison avec la valeur tabulée en fonction de la température. Mesure de la vitesse de déplacement du banc au chrono. Mesure par détection synchrone de  $\Delta f$ . Comparaison de la vitesse mesurée au chrono et avec la détection synchrone.

## **Précautions expérimentales**