

**Rapport bibliographique de projet**

***Année scolaire 2020-2021***

***″Laser Speaker : tourelle à ondes sonores unidirectionnelles″***

**Etudiants : Samuel Bronstun, Alix Coin**

**Encadrants : Pascal Masson**

Ecole Polytechnique Universitaire de Nice Sophia-Antipolis, Département électronique

1645 route des Lucioles, Parc de Sophia Antipolis, 06410 BIOT

**SOMMAIRE**

Introduction 7

Chapitre I : L'acoustique 8

I.1. Principes de la propagation du son 8

I.2. Appareils préexistants 8

I.3. Démodulation des ondes sonores 8

Conclusion 11

Bibliographie 12

Annexe A 13

# 

# Introduction

Le but de ce projet est de créer une tourelle sur laquelle est monté un haut-parleur unidirectionnel. La tourelle est libre de tourner sur elle-même autour de la verticale à plus de 360°, et sa « tête » (le haut-parleur) peut s’incliner à 90° de haut en bas. C’est-à-dire que le haut-parleur peut être pointé vers n’importe quelle direction autour de la tourelle.

Les mouvements de la tourelle sont contrôlés à distance via [ ? Bluetooth ?] par l’utilisateur. [ ? La tourelle peut aussi régler sa direction automatiquement vers une source chaude, et la suivre, grâce à un capteur thermique ?].

Le haut-parleur unidirectionnel permet de reproduire un signal sonore envoyé à distance [ ? en Bluetooth ?] par l’utilisateur. [ ? Il permet aussi de faire converger ce signal sonore à une certaine distance , définie par l’utilisateur, de la tourelle ?].

[ ? De plus, la tourelle possède un haut-parleur omnidirectionnel « classique » statique, dont le son peut être atténué dans certaines directions grâce au haut-parleur unidirectionnel mobile ?]

## Plan du projet :

Le projet peut être divisé en plusieurs parties :

* Acoustique : la théorie derrière le son directionnel, les applications déjà existantes, [ ? la théorie de l’atténuation acoustique active ?]
* Mécanique : les différents types de moteurs, le contrôle des moteurs
* Software : le traitement du signal sonore, l’implémentation du contrôle des moteurs, [ ? la liaison Bluetooth ?], [ ? le suivi de source chaude ?],

# Chapitre I : L’acoustique

## I.1. Principes de la propagation du son

Le son, comme la lumière, se propage sous forme d’ondes. Ces ondes sont caractérisées par leur fréquence, leur amplitude et leur phase. Les ondes sonores émises par une source ne se propagent pas uniquement en ligne droite, mais divergent par rapport à la normale à la surface de la source avec un certain angle. Dans le cas des hauts-pareur « classique », cet angle est très grand et l’on a donc tendance à penser que le son se propage comme la lumière d’une ampoule (et pas comme un LASER).

L’équation qui donne la pression sonore en un point ***A*** à une distance *r* d’une source linéaire de longueur *d*, qui émet une onde sonore de longueur est :

[Beranek’54]

avec *P* la pression en ***A***, l’angle entre ***A*** et la normale,

la pression à la distance *r* de la source à un angle =0

On donne le graphe de *P*() sur [-; ] pour *d* = 0.5m et = 1

Fig.1 = 8.575m , correspond à une onde de 40Hz

Fig.2 = 0.008575m , correspond à une onde de 40kHz

( pour la vitesse du son dans l’air égale à 343m/s )

Graphical user interface, chart, application, table

Description automatically generated

**Figure I.1.** *P*() *pour 40Hz graphe Xcas*

*Chart, shape

Description automatically generated***Figure I.2.** *P*() *pour 40kHz, le pic autour de =0 est très prononcé graphe Xcas*

On caractérise la directivité d’un émetteur par l’angle maximum pour lequel la pression sonore à une certaine distance de l’émetteur ne baisse pas à plus d’un certain nombre de décibels (souvent -3dB ou -6dB).

On observe dans Fig.1 que la pression sonore est la même 180° autour de l’émetteur, celui-ci est donc omnidirectionnel. En revanche, Fig.2 montre un net pic au voisinage de 0°, le reste de la courbe étant nulle. Cet émetteur est unidirectionnel : la pression sonore est approximativement nulle partout sauf directement en face de celui-ci.

La représentation sur un graphe à coordonnées polaires, avec *p*() = *P*() la distance de chaque point du graphe avec l’origine, permet d’avoir une représentation géométrique de la distribution de la pression par rapport à l’angle. On se place cette fois sur ∈ [; ] (c’est-à-dire 360° autour de l’émetteur)

Chart

Description automatically generated**Figure I.3.** *P*() *pour 40Hz, la pression est la même tout autour de l’émetteur graphe Xcas*

Chart, calendar

Description automatically generated**Figure I.4.** *P*() *pour 40kHz, la pression est concentrée dans la direction graphe Xcas*

*normale à l’émetteur*

Chart, diagram

Description automatically generated

**Figure I.5.** *P*() *pour 2kHz, on observe la formation de « lobes » graphe Xcas*

Fig.3, 4 et 5 montrent qu’a basse fréquence, la pression est répartie de façon globalement circulaire autour de l’émetteur, mais lorsque la fréquence augmente, on observe l’apparition de « lobes » secondaires, en plus du principal : le principal tend à s’allonger dans la direction normale à l’émetteur, et les secondaires raccourcissent et tendent à s’orienter selon le principal.

Cette équation, utilisée pour caractériser la pression produite par un émetteur linéaire de longueur *d*, peut être généralisé à un émetteur plan de surface *a* = *d* 2.

Le critère principal pour créer un émetteur unidirectionnel est donc le ratio entre la surface de l’émetteur *a* et la longueur d’onde du signal sonore : lorsque *a* / augmente, la directivité de l’émetteur s’améliore.

La plage des fréquences audibles pour l’homme est approximativement de 20Hz à 20kHz, un émetteur unidirectionnel produisant un signal sonore sur cette plage de fréquence serait trop grand pour être réalisable et transportable facilement. Il est donc nécessaire d’envoyer un signal sonore composé d’ultrasons. Or, les ultrasons, étant en dehors de la plage de fréquence audible, sont par définition inaudibles. Il semblerait donc que notre appareil soit impossible à créer.

## I.2. Appareils préexistants

Pourtant, d’autres appareils fonctionnant sur le même principes ont déjà été créés, à des tailles raisonnables, et sont même sur le marché (voir par exemple l’ « Audio Spotlight » [AudioSpotlight]). Ils sont utilisés dans plusieurs domaines, principalement dans les expositions, les musés pour créer une expérience immersive ; dans les supermarchés pour envoyer des spots publicitaires sonores à certains endroits précis et des brevets ont été déposé pour des systèmes d’émetteur directionnels dans des voitures.

## I.3. Démodulation des ondes sonores

Pour comprendre leur fonctionnement, il faut se pencher sur l’équation d’onde d’un signal sonore.

# Bibliographie

[Beranek’54] Leo L. Beranek “Acoustics” Chap 4, p. 96, 1954

[AudioSpotlight] « Audio Spotlight », émetteur unidirectionnel commercialisé par Holosonics, <https://www.holosonics.com/>