

---

# RAPPORT DE STAGE VOLONTAIRE (L2)

---

*Observations et expériences en Acoustique*  
Stage réalisé du 20/05 au 01/07 2022

*Azal LE BAGOUSSE*  
L2 Majeure Mécanique Mineure Informatique

Encadré par M. François OLLIVIER  
Enseignant-chercheur de l'institut d'Alembert [équipe MPIA]

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Résumé/Abstract</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Cadre du stage</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Présentation du laboratoire d'accueil</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Introduction à la question</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Expérience : les sources acoustiques</b>	<b>7</b>
5.1	Etude et contexte . . . . .	7
5.2	Socle préparatoire . . . . .	10
<b>6</b>	<b>Résultats et conclusion de l'expérience</b>	<b>13</b>
6.1	Fonctionnement et spectrogrammes . . . . .	13
6.2	Etude de la directivité . . . . .	15
<b>7</b>	<b>Conclusion du rapport et perspectives</b>	<b>18</b>

# Chapitre 1

## Résumé/Abstract

In the field of acoustical engineering, modeling in the continuous medium is necessary to be able to understand all dynamical phenomena. The subject of this internship was the study of acoustical sources, with the following goals :

- understanding the acquisition chains for sound signals and their spectrograms
- making sure that the system is operational for data adequacy
- establishing the directivity diagrams for all sound sources

This results in directivity modeling after setting up the acquisition chains depending on the sources, the acquisitions themselves and data processing.

To process signals and study them with precision, perfect performance of the microphones is mandatory. In this context and to check it, I coded a program which we will talk about later.

Because the microphones were operating correctly, the precision of the directivity diagrams by beam-forming was ensured, which allowed us to study them accordingly. Beamforming is a fundamental technique in antenna engineering. The details of its relationship with signal processing will be explained along the way.

Finally, the contents of the experiments done during the internship and their results are detailed in the corresponding sections of this report.

*FR : Dans le domaine de l'acoustique, la modélisation dans le milieu continu est nécessaire pour arriver à comprendre les phénomènes dynamiques. L'objet de ce stage était l'étude des sources acoustiques, avec comme objectifs :*

- comprendre les chaînes d'acquisition du signal sonore et de ses spectrogrammes*
- vérifier que le système est opérationnel pour l'adéquation des données*
- déterminer les diagrammes de directivité des sources*

*Tout cela résulte en une modélisation de la directivité après composition de chaînes d'acquisition selon les sources, d'acquisitions en elles-même et du traitement des données obtenues.*

*Pour traiter le signal et l'étudier avec précision, le fonctionnement correct des microphones est un pré-requis. La vérification de ce dernier a été l'objet d'un programme informatique que j'ai pu créer dans le contexte de ce stage.*

*Grâce au bon fonctionnement des microphones, la précision des diagrammes de directivité par beam-forming était assurée, ce qui nous a permis de les étudier par la suite. Le beamforming est une technique fondamentale de l'antennnerie. Le détail de sa relation avec l'étude du signal est expliqué plus loin dans ce document.*

*Enfin, le contenu des expériences effectuées durant le stage ainsi que leurs résultats sont détaillés dans l'ordre dans les chapitres correspondants de ce rapport.*

# Chapitre 2

## Cadre du stage

Elève de L2 majeure mécanique et mineure informatique, j'ai toujours été intéressée par la perception auditive et l'acoustique. Je suis entrée dans ma licence dans le but précis d'intégrer par la suite un master d'acoustique, afin d'étudier entre autres la psychoacoustique. En effet, en L1, je me suis renseignée sur le meilleur chemin pour atteindre mon objectif directement auprès du directeur du master et autres professeurs. En mai 2022, j'ai envoyé mon CV et ma motivation au directeur du master d'acoustique, M. Régis Marchiano, afin de trouver une formation la plus proche de mon domaine de prédilection.

En plus de me permettre d'élargir mes connaissances de la recherche, ce stage m'a permis de me projeter sérieusement dans le monde du son appliqué à l'homme à travers la voix et de la recherche. J'ai choisi ce stage entre autres car j'ai été mise en binôme avec un élève de M1 acoustique (Matthieu Neuens), ce qui m'a permis de trouver un contact qui a pu m'en apprendre beaucoup. En effet, j'ai pu avancer sans prendre de retard grâce à ses explications additionnelles à celles de notre maître.

Ce stage s'est déroulé sur 5 semaines, de fin juin à début septembre, sous la tutelle d'un enseignant-chercheur de la FSI de Jussieu, M. François Ollivier, membre de l'équipe MPIA au sein de l'institut Jean Le Rond d'Alembert. Il m'a enseigné de nouveaux concepts avant de m'assigner différentes tâches selon le besoin des expériences qu'il nous a demandé d'effectuer. Un doctorant en acoustique, Matthieu Hartenstein, s'est aussi quelques fois joint à notre professeur pour nous aider dans les expériences.

Mon stage m'a permis d'acquérir des compétences utiles pour le futur, en prenant part entière aux expériences en binôme avec mon camarade.

Les expériences effectuées durant cette période étaient du domaine de l'antennerie, et seront détaillées après le chapitre de présentation du laboratoire qui m'a accueillie et une introduction à la question.

# Chapitre 3

## Présentation du laboratoire d'accueil

Le laboratoire m'ayant accueillie durant ce stage en me permettant d'avoir accès à leurs ressources est l'**Institut Jean le Rond d'Alembert**. Cet institut, surnommé D'Alembert, est un laboratoire de recherche dont la vocation est d'étendre le champ des connaissances dans tous les domaines de la Mécanique, de l'Acoustique et de l'Energétique. D'Alembert est une Unité Mixte de Recherche de la Faculté des Sciences et d'Ingénierie de Sorbonne Université (ex UPMC- Université Pierre et Marie Curie) et du CNRS (UMR7190), également soutenue par le Ministère de la Culture. Rassemblant près de cent soixante dix personnes, dont une petite centaine de permanents, environ soixante doctorants et une vingtaine de personnels temporaires, il constitue le laboratoire de recherche le plus important d'Île-de France par la taille dans son domaine d'activité [1]. Créé en 2007, il regroupe 5 anciens laboratoires de mécanique, acoustique et énergétique.

L'institut est divisé en 5 équipes : **MPIA** (Modélisation, Propagation et Imagerie Acoustique), **LAM** (Lutheries - Acoustique - Musique), **CEPT** (Combustion Energie Propre Turbulence), **FCIH** (Fluides Complexes et Instabilités Hydrodynamiques) et **MISES** (Mécanique et Ingénierie des Solides Et des Structures). L'équipe qui m'a accueillie et m'a formée a été celle de MPIA, mais j'ai aussi pu rencontrer certains membres de l'équipe LAM lors de la récupération de matériel ou autre.

On remarque rapidement que les équipes dans un même domaine au sein du laboratoire se connaissent et interagissent sans problème entre elles, ce qui montre un esprit de cohésion commun à la recherche.

L'équipe MPIA, dont M François Ollivier fait partie, fait preuve d'expertise en modélisation de milieux continus, en traitement analytique ou numérique de phénomènes dynamiques (propagation et/ou vibrations, instabilités), et une longue pratique expérimentale.

Dans ce cadre, la plus grande partie des travaux entrepris concerne l'acoustique physique, soit la propagation d'ondes linéaires ou non linéaires dans des milieux ou structures hétérogènes mais de nature variée allant de certains fluides à des solides plus ou moins cristallins et souvent anisotropes [2].

# Chapitre 4

## Introduction à la question

Le sujet de ce stage a été l'étude des sources acoustiques contrôlées, à savoir :

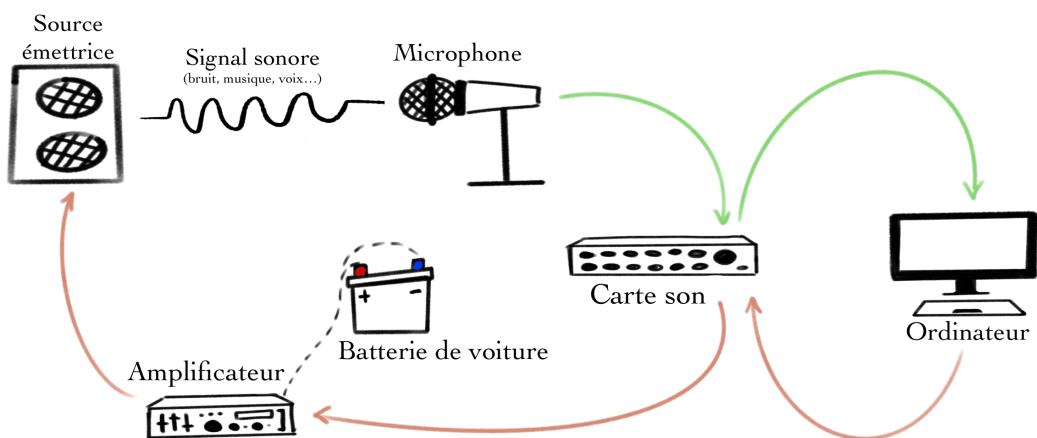
- comprendre les chaînes d'acquisition du signal sonore et de ses spectrogrammes
- vérifier que le système est opérationnel pour l'adéquation des données
- déterminer les diagrammes de directivité des sources

Les sources acoustiques contrôlées, à l'inverse des sources naturelles comme la voix etc, sont les sources électroniques (haut-parleurs le plus souvent) qui émettent un signal dont l'on peut présenter le spectrogramme et le diagramme de directivité.

Selon l'université de Princeton : **"Directivity is a measure of the directional characteristic of a sound source. It is often expressed as a Directivity Index (in dB) is defined as the acoustic intensity at a given point on the surface of an imaginary sphere surrounding the loudspeaker relative to the average intensity over the entire surface."** [3]

On peut donc modéliser la directivité à partir de calculs précis menant à une représentation 3D (dans notre cas) de celle-ci, nous permettant de vérifier que la source fonctionne adéquatement en comparant les diagrammes à ceux d'autres sources contrôlées. Le but de l'expérience principale qui suit ce chapitre a donc été de modéliser le champ de directivité à l'aide d'un programme donné par notre enseignant.

Pour obtenir des modélisations correctes, nous avons dû composer des chaînes d'acquisition en connectant chaque source (9 au total) à son tour à un amplificateur, lui-même connecté à une carte son et à un ordinateur. Une chaîne se présente presque toujours ainsi :



Ces chaînes sont au centre des expériences menées par la suite, comprendre leur disposition était fondamental.

Par la suite, j'ai écrit un programme informatique permettant de vérifier qu'aucun microphone ne présentait un dysfonctionnement et qu'ils captaient tous un signal, en obtenant des spectrogrammes convenant et précis afin de pouvoir déterminer les diagrammes de directivité par *beamforming*.

Le *beamforming* (ou formation de voie) est la technique de base utilisée en antennerie pour localiser les sources d'un rayonnement quelconque dans un espace arbitraire [4]. En recalant les retards des signaux en fonction des directions de ceux-ci, on les somme pour chaque microphone, ce qui permet de comprendre selon l'intensité du signal capté à un certain endroit de déterminer si une source est présente et à quelle distance elle se trouve des microphones. Cette technique de traitement du signal est très utilisée en imagerie acoustique.

Fondées sur les concepts décrits ci-dessus, les expériences menées pendant mon stage sont détaillées par la suite de ce rapport.

# Chapitre 5

## Expérience : les sources acoustiques

### 5.1 Etude et contexte

L'expérience principale s'est déroulée en une semaine sur le campus de Jussieu, en chambre anéchoïque.<sup>1</sup> Une chambre anéchoïque est une pièce fermée dont les paroies ne permettent pas la réverbération du son grâce aux mousses qui tapissent les murs. Une telle salle permet l'étude de signaux sonores purs et d'obtenir des diagrammes de directivité précis.<sup>2</sup>



Nous avions accès au matériel suivant :

- 9 sources (petit haut-parleur non-baillé, grand haut-parleur non-baillé, dodécaèdre gris, dodécaèdre vert, cube rouge sous 4 formes, cube bleu)
- 2 amplificateurs (le premier pour le dodécaèdre vert, l'autre pour les autres sources)
- les câbles de connectique
- un trépied
- une batterie de voiture
- une carte son connectée à un ordinateur
- 32 antennes de 8 microphones chacune
- 3 grandes grilles de support

L'expérience avait comme buts d'apprendre à assembler une structure d'antennes assez performante pour capter un signal net pour tous les microphones, de vérifier que le matériel était opérationnel

1. (*Le saviez-vous ?* : Notre université possède la plus grande chambre anéchoïque d'Île de France.)

2. Définition personnelle. Selon le site [lalanguefrancaise.com](http://lalanguefrancaise.com) : Enceinte d'essais dont les parois, tapissées de matière absorbante, ne réfléchissent pas les ondes électromagnétiques ou les ondes acoustiques, de façon à reproduire au mieux les conditions de propagation de ces ondes en l'absence de tout obstacle.

et que le signal était correctement capté et définir les diagrammes de directivité des différentes sources.



FIGURE 5.1 – Sources de gauche à droite : cube bleu, petit haut-parleur, grand haut-parleur

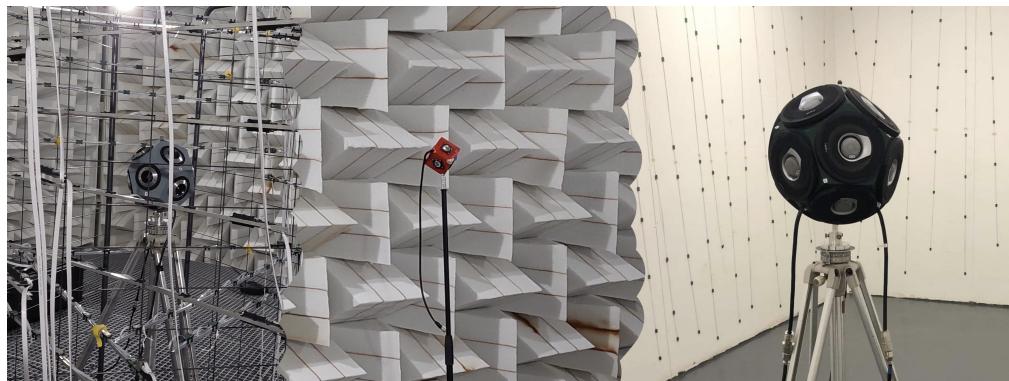


FIGURE 5.2 – Sources de gauche à droite : Dodécaèdre gris, cube rouge, dodécaèdre vert

Nous avons commencé l'expérience de mesure de directivité en montant les 32 antennes de 8 microphones sur les supports et en les branchant à une carte son prévue à cet effet.

La durée du montage a été de deux journées environ, notamment à cause des câblages et de la configuration des antennes sur la grille. En effet, une configuration adéquate était nécessaire pour capter le signal de manière correcte pour chaque microphone, c'est-à-dire que les antennes devaient couvrir un maximum de terrain sonore autour de la source.

Nous avons choisi une configuration circulaire, autrement dit s'approcher au plus d'une antenne sphérique, pour balayer au plus l'espace. Cela nous permettait donc d'avoir une antenne sphérique de 256 microphones. Cette configuration était cependant approximative à cause du nombre et de la forme des supports, qui ne permettaient pas une grande maniabilité, mais constitue la fomation la plus efficace, après de nombreux changements suivant concertations.



FIGURE 5.3 – Câblage de la carte son / Cube bleu au centre du montage

Nous avons commencé par une acquisition avec comme source le cube bleu (cf. photo ci-dessus), puis les haut-parleurs non-bafflés, les 4 variantes du cube rouge qui dépendaient d'un câble intermédiaire (dipôle<sup>3</sup> vertical, quadripôle<sup>4</sup> d'ordre 0, quadripôle horizontal et dipôle horizontal) et enfin les 2 dodécaèdres.

Nous démarrions alors deux acquisitions sur l'ordinateur pour chaque source : avec un chirp<sup>5</sup> et avec un bruit blanc<sup>6</sup>. L'ordinateur, connecté à la source, permettait de lancer le son dans celle-ci, tout en récupérant le signal traité grâce à la carte son, reliée aux microphones (cf. Introduction, schéma Chaîne d'acquisition). A noter : pour chaque nouvelle source, il fallait être sûr d'avoir les bonnes connectiques et le matériel adéquat, notamment au niveau du choix de l'amplificateur selon la source, et il fallait mesurer les coordonnées de la source sur des axes (x,y,z) que nous avions défini afin de pouvoir utiliser ces mesures dans nos programmes.

Chaque source était disposée face à nous (azymut<sup>7</sup> 000) ou avec un angle de 90° (azymut 090), et les 2 acquisitions étaient lancées pour chaque direction différente de la source.

Nous obtenions donc 4 fichiers pour chaque source, 2 pour le même azymut. Ces fichiers peuvent donc être maintenant traités par un programme de vérification du fonctionnement du système et de traitement des données par spectrogrammes et un programme de visualisation de directivité par *beamforming*, dont nous allons parler dans la section des résultats de l'expérience.

*Pour cause de limite de longueur du rapport, les codes ne seront pas inclus en annexe mais restent disponibles à la demande. De courts extraits sont présents ci-dessous.*

- 
- 3. Circuit électrique possédant deux bornes.
  - 4. Circuit électrique possédant quatre bornes.

5. Wikipedia : Un signal pseudo-périodique modulé en fréquence autour d'une fréquence porteuse et également modulé en amplitude par une enveloppe dont les variations sont lentes par rapport aux oscillations de la phase phi.  
**Plus simplement** : un signal court allant des graves vers les aigus de manière exponentielle

6. Futura-sciences : Le bruit blanc est une tonalité générée de façon aléatoire combinant toutes les fréquences sonores simultanément

- 7. Angle formé par le plan vertical d'un astre et le plan méridien du point d'observation.

```

fig = make_subplots(rows=2, cols=2,
    subplot_titles=("Signal de référence", "FRFs", "Spectrogramme de la voie de référence", "Cohérence")#, specs=[[{}, {}],[{}, None]])
fig.update_layout(height=600)
fig.add_trace(go.Scatter(x=t, y=pref, showlegend=False, line=dict(color='cyan')), row=1, col=1)
fig.update_xaxes(title_text="Temps", row=1, col=1)

fig.add_trace(go.Heatmap(x=tt,y=ff,z=10*np.log10(Spr/Po**2),colorscale='inferno', zmin = 0, zmax = 90, showscale=True,showlegend=False),row=2, col=1)
fig.update_xaxes(title_text="Temps", row=2, col=1)
fig.update_yaxes(title_text="Fréquence (Hz)", range=[2 , 4] , type = 'log', row=2, col=1)

, value = BlobI, opacity = 0.5, surface_count = 2, isomin = Dyn/2, isomax = Dyn, showscale=False, row = row, col = col)
showlegend = False, name = 'Micros', text = Mlbls,customdata = Mlbls, mode = 'markers', marker = dict(line_width=1,size=4,opacity = 0.1, color = 'grey'), row=row, col = col)
],mode = 'markers', marker = dict(line_width=1,size=10,opacity = 1, color = 'green'),showlegend = False), row = row, col = col)
[centroid[0][2]],mode = 'markers', marker = dict(line_width=1,size=10,opacity = 1, color = 'red'),showlegend = False), row = row, col = col)
late="Micro#{%{customdata} ")
yndb) + "dB"

```

FIGURE 5.4 – Extrait programme vérification+spectrogrammes / Extrait programme directivité

## 5.2 Socle préparatoire

[ *NDLR* : Cette partie du rapport se concentre autour de 2 manipulations effectuées avant la principale, mentionnée à la section précédente. Je considère ces expériences ”préparatoires” par leur rapport à l’étude essentielle des sources. Cette section est à part afin de simplifier la structure du rapport, car je vais décrire les 2 mises en pratique et leur conclusion directement à leur suite, sachant qu’elles n’avaient pas d’autre but réel qu’apprendre à manipuler dans différents contextes. ]

La première expérience s'est déroulée durant la deuxième semaine de mon stage, sur le campus de Saint-Cyr, qui abrite de nombreux laboratoires où des équipes scientifiques viennent travailler et expérimenter (notamment de l'Institut Jean le Rond d'Alembert). Nous nous sommes rendus en salle MODO (*Les Murs Ont des Oreilles*), salle nommée après l'antenne de 1024 MEMS digitaux<sup>8</sup> qui en tapisse les parois. Cette salle fut mise en place pour la thèse du doctorant Hugo Demontis en 2019 [5].



L'objectif de l'expérience était initialement de calibrer les sources<sup>9</sup> et de ce fait apprendre à manipuler les éléments des chaînes d'acquisition du son (câbles, machines). La salle n'était pas anéchoïque et permettait ainsi la réverbération du signal, ce pourquoi les résultats de la calibration n'ont pas été plus étudiés par la suite. De plus, étant notre première expérience, le câblage était contestable pour certaines sources. Cependant, tout cela nous a permis d'apprendre à gérer les différentes sources et acquisitions, ce qui était essentiel pour la suite du stage.

8. Système micro-électromécanique, machine miniature pouvant capter un signal sonore

9. Vérification de la source par rapport à un niveau connu (en dB) à une fréquence connue (généralement 500Hz) à l'aide d'un programme informatique prévu à cet effet

Les 9 sources présentées dans la section précédente ont été utilisées, du cube bleu au dodécaèdre vert. Une fois le matériel mis en place, la manipulation consistait à lancer deux acquisitions différentes pour chaque source, l'une avec un chirp et l'autre avec un bruit blanc, comme pour l'expérience principale. Les seules différences entre ces deux expériences étaient le nombre de microphones et la configuration de la salle (anéchoïque ou régulière).

Chaque sonogramme<sup>10</sup> et heatmap<sup>11</sup> étaient générés à partir d'un programme informatique déjà présent sur l'ordinateur utilisé, ordinateur lié spécifiquement à la salle MODO dont le programme avait été écrit pour l'étude du doctorant à son origine.

Sur les photos qui suivent, on peut voir approximativement les résultats que nous obtenions pour chaque source, une heatmap qui représente la fréquence du signal en fonction du temps (entre 5 à 10 secondes pour chaque signal) et un sonogramme sur la même durée.

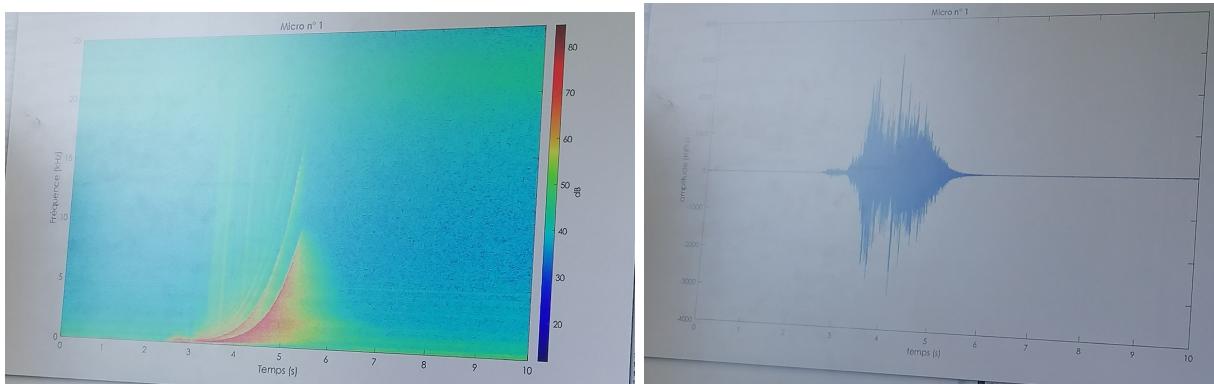


FIGURE 5.5 – Heatmap / Sonogramme

Sur la heatmap, on voit clairement le tracé correspondant à un chirp, la fréquence montant rapidement du grave aux aigus, avec les harmoniques<sup>12</sup> se dessinant à cause de la répercussion du son sur les parois. Le sonogramme représente l'amplitude du signal en mPa en fonction du temps pour un bruit blanc, que l'on reconnaît au caractère aléatoire des pics d'altitude.

La deuxième expérience avait pour but de se sentir plus à l'aise dans la salle anéchoïque du campus de Jussieu et à commencer à y manipuler avec une antenne. Se déroulant au début de la troisième semaine de stage, cette manipulation consistait simplement à acquérir le signal sonore provenant de 2 enceintes (trouvables sur le marché) par une antenne de 32 microphones, posée sur un pied parallèlement et à la même hauteur de celles-ci. Afin de s'habituer aux antennes de 8 microphones utilisées dans l'expérience principale, nous avons pu utiliser 4 antennes de 8 microphones à la place de celle de 32 de la même manière, ce qui nous a aussi permis de couvrir plus de terrain sonore et de mieux capter le signal. Nous avons aussi changé la disposition des 4 antennes pour différentes prises de son, et les signaux envoyés étaient les mêmes chirp et bruit blanc. Les résultats de cette expérience n'ont pas été sauvegardés, puisqu'inutiles pour la suite.

10. Représentation graphique à deux ou trois dimensions (ici temps et amplitude) des composants acoustiques d'un signal sonore.

11. Oxford's English Dictionnary : A representation of data in the form of a map or diagram in which data values are represented as colours.

12. Oscillations secondaires qui s'ajoutent en l'altérant à une oscillation principale, et dont la fréquence est un multiple de celle de l'oscillation principale



FIGURE 5.6 – 4 antennes x 8 microphones / Antenne 32 microphones

Ces expériences ont été indispensables pour la compréhension des concepts acoustiques et pour faciliter la transition à l'expérience principale. Elles m'ont permis de connaître la chambre anéchoïque de Jussieu et le site de Saint Cyr, que je n'avais visité qu'une seule fois. J'ai ainsi pu me sentir intégrée aux équipes de recherche et pu progresser dans mon savoir et mes techniques.

# Chapitre 6

## Résultats et conclusion de l'expérience

Dans ce chapitre, nous allons discuter des résultats de l'expérience principale, l'étude de la directivité des sources en salle anéchoïque.

### 6.1 Fonctionnement et spectrogrammes

Une grande partie de mon stage s'est concentrée autour de l'écriture personnelle d'un programme informatique ayant différents objectifs.

D'abord, il fallait vérifier le bon fonctionnement de l'antenne, c'est-à-dire étalonner les 256 microphones en utilisant les acquisitions grâce à la structure sphérique de l'antenne. Ceci est effectué grâce à une modélisation de la valeur RMS<sup>1</sup> par heatmap. Ci-dessous, deux exemples de heatmap obtenues lors d'une acquisition avec le cube bleu (bruit blanc, azymut 0, hauteur de 1m22 du sol) et le dodécaèdre (bruit blanc, azymut 90, hauteur de 1m34 du sol) en plus du compteur qui permet une double vérification du système<sup>2</sup>.

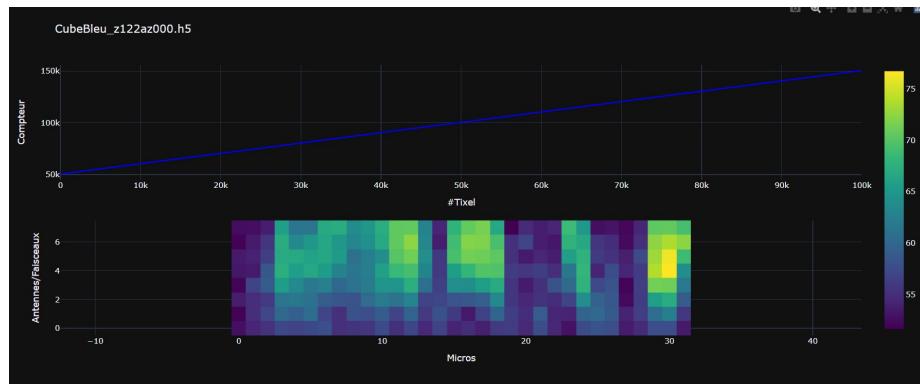


FIGURE 6.1 – Heatmap et compteur d'une acquisition avec le cube bleu

1. "Root Mean Square" du signal moyen, la valeur efficace du signal = la racine carrée de la moyenne du carré du signal sur un intervalle de temps donné

2. Si le compteur saute une valeur sur le tracé, les données sont faussées

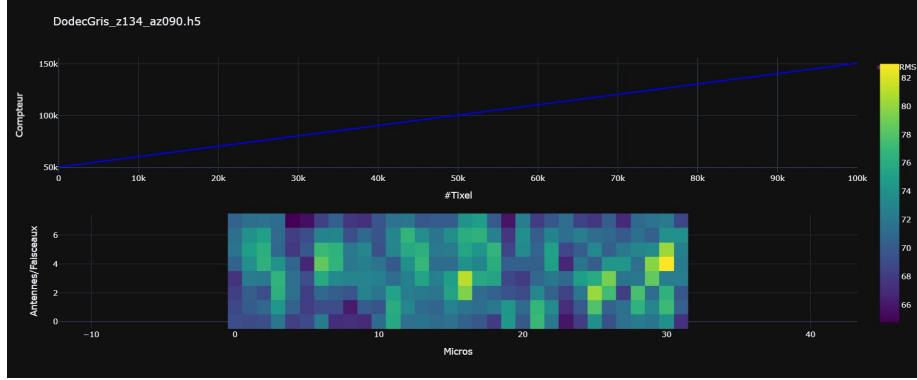


FIGURE 6.2 – Heatmap et compteur d'une acquisition avec le dodécaèdre gris

On remarque que le compteur dessine une droite affine et ne présente aucune discontinuité dans les valeurs, et les heatmaps montrent pour chaque microphone un pixel coloré : selon la légende à droite des impressions écran, cela indique que le signal est capté pour chaque antenne et chaque microphone (à différents niveaux de RMS), et aucun microphone n'a un RMS nul donc tout fonctionne correctement.

Ensuite, ce programme permet aussi de définir le spectrogramme de la voie de référence sous forme de heatmap, le signal de référence lui-même ainsi que les modélisations des FRFs<sup>3</sup> et de la cohérence<sup>4</sup>. Ces données sont utiles lors de l'étude d'un signal puisqu'elles caractérisent l'identité de celui-ci, et les spectrogrammes seront utilisés pour la directivité par *beamforming*, dont on parlera dans la prochaine section.

Ci-dessous les données obtenues lors des mêmes acquisitions avec le cube bleu et le docécaèdre gris :

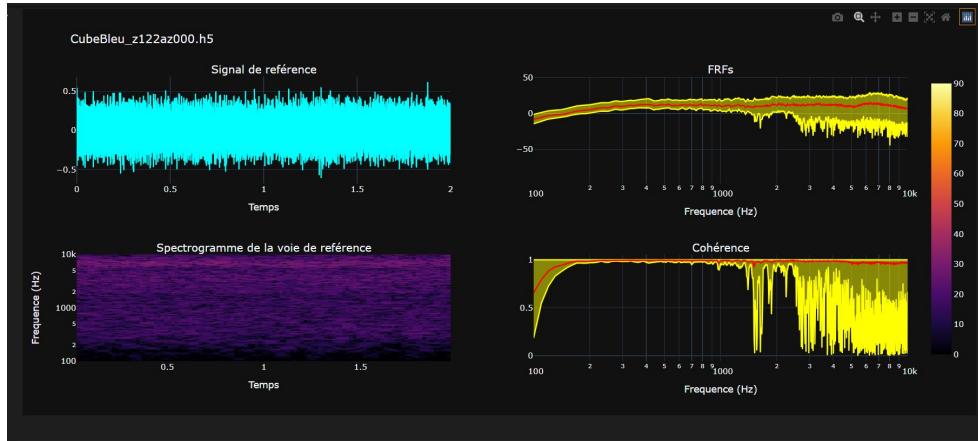


FIGURE 6.3 – Identité de l'acquisition avec cube bleu

3. e-nvh.eomys.com : Frequency Response Functions = functions used to quantify the response of a system to an excitation, normalized by the magnitude of this excitation, in the frequency domain. Can be expressed as a RMS value of the velocity over the vibrating surface(s)

4. Standford University (ccrma.stanford.edu) : The coherence  $C_{xy}(\omega)$  is a real function between zero and one which gives a measure of correlation between the signals  $x$  and  $y$  at each frequency  $\omega$ .

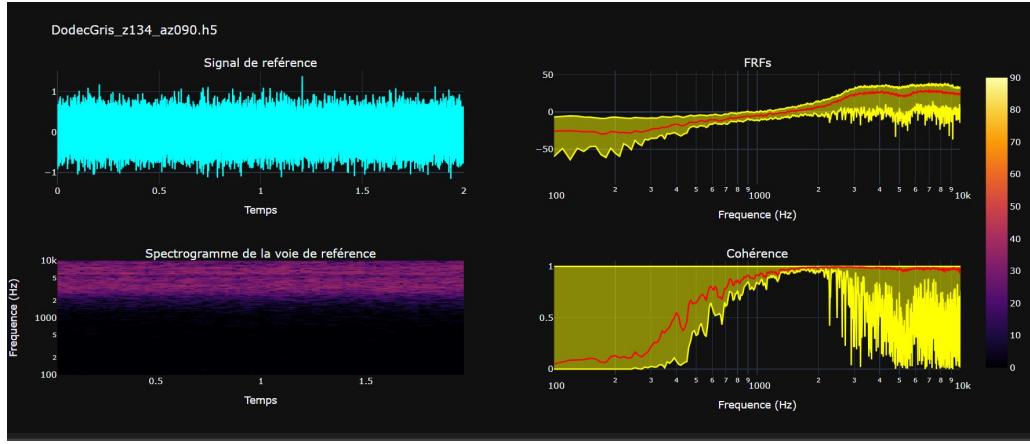


FIGURE 6.4 – Identité de l’acquisition avec dodécaèdre gris

## 6.2 Etude de la directivité

[ *NDLR* : Nous allons à présent aborder le sujet principal du rapport : la détermination de la directivité par *beamforming*. Les détails de cette technique sont poussés et demandent une explication longue et radicale. On peut se référer à la définition simplifiée rédigée dans l’introduction du rapport, sur laquelle nous nous baserons dans cette section. ]

Nous savons qu’à partir des spectrogrammes obtenus lors de chaque acquisition, nous pouvons dresser le diagramme de directivité pour chacune par *beamforming*. Nous allons comparer ici les diagrammes obtenus pour différentes sources aux diagrammes connus selon les différents types de sources (monopôle, dipôle, quadripôle ...). Ceci nous permet de déterminer la nature des sources étudiées et de vérifier qu’elles fonctionnent comme prévu.

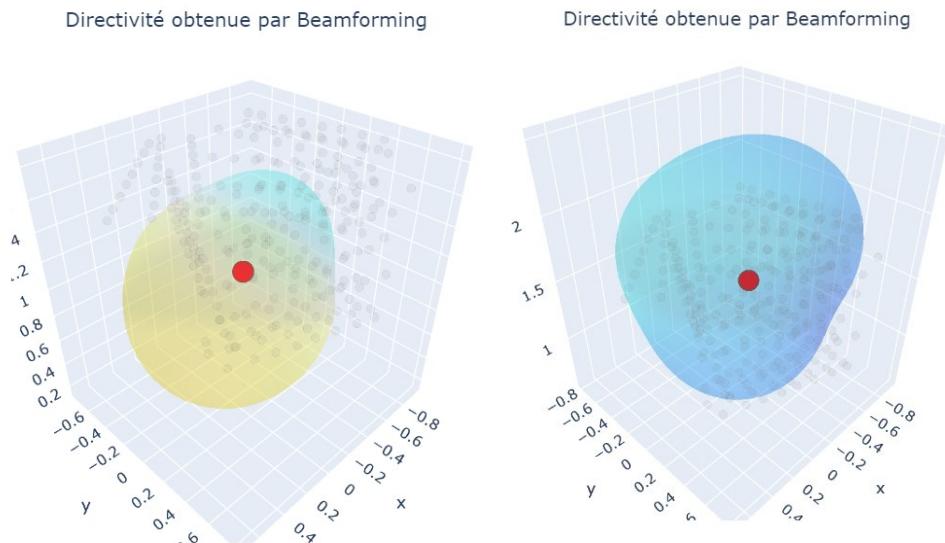


FIGURE 6.5 – Directivité cube bleu (azymut 0 / azymut 90)

Ces graphiques représentent la directivité obtenue pour deux acquisitions avec cube bleu (représenté par le point rouge, dans un amas de points gris représentant les antennes de microphones définies par calibration). Il se trouvait à 1m22 du sol, et la fréquence du bruit produit était de 500Hz à chaque fois. On remarque que les diagrammes sont de l'exacte même forme, cependant dans une direction presque inverse l'un de l'autre : c'est la différence donnée par l'azymut. La source étant tournée à 90°, le diagramme reflète cet écart d'angle.

On remarque aussi que le diagramme est de forme presque circulaire, ce qui peut nous rappeler le diagramme de directivité d'une source monopolaire :

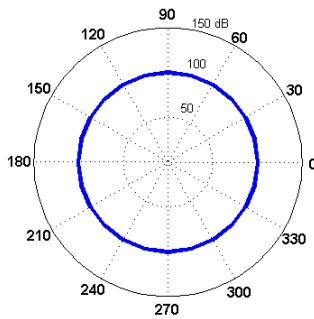


FIGURE 6.6 – Exemple de directivité en 2D d'un monopôle

Le cube bleu est la source la plus simple que l'on avait à étudier et était bien un monopôle, ce qui valide notre hypothèse.

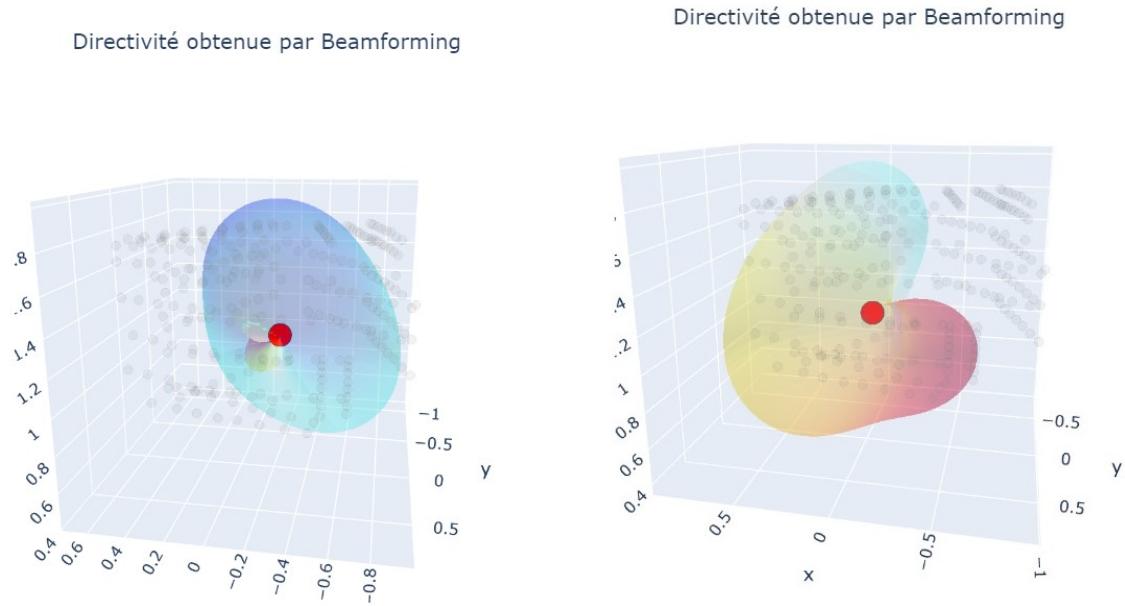


FIGURE 6.7 – Directivité cube rouge (dipôle horizontal / dipôle vertical)

A 1m23 du sol et pour des acquisitions à 500Hz en azymut 0, on compare les directivités de 2 versions du cube rouge : dipôle horizontal ou vertical.

Comme expliqué précédemment, le cube rouge se connecte à des câbles intermédiaires qui changent sa polarité. Ces graphiques suivent les mêmes axes et peuvent être facilement différenciés : celui de gauche représente 2 blobs de directivité l'un au dessus de l'autre (le bleu au dessus du jaune juste derrière le point rouge de la source), et l'autre représente 2 blobs collés à côté l'un de l'autre. On peut alors relier ces diagrammes à ceux de sources dipolaires, qui représentent toujours deux pôles différents.

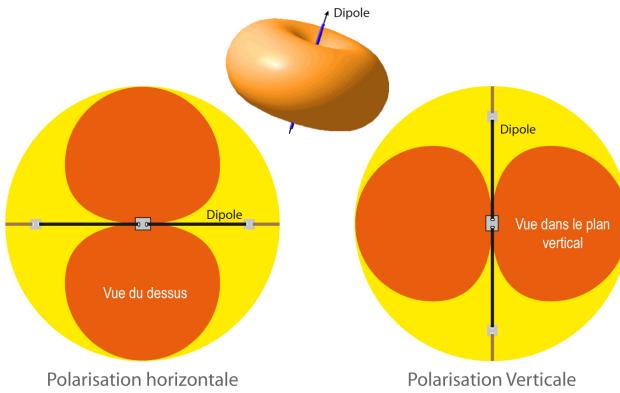


FIGURE 6.8 – Exemple en 2D de directivité d'un dipôle horizontal et dipôle vertical

On peut voir que les graphiques obtenus se rapprochent des schémas ci-dessus. En effet, en simplifiant le trait et en modifiant l'angle de vue, on obtient :

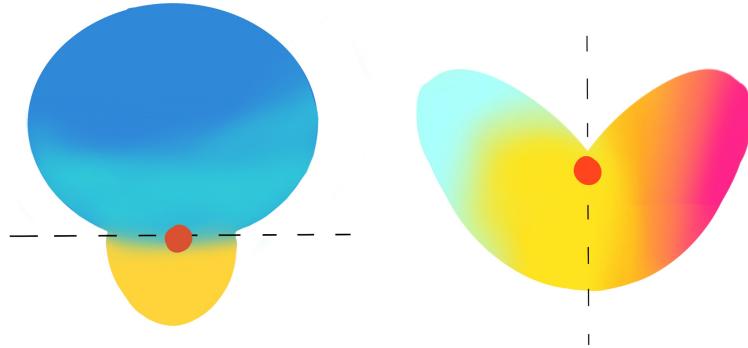


FIGURE 6.9 – Schémas simplifiés des diagrammes obtenus

Ceci prouve que nos acquisitions ont été correctement faites avec le cube rouge en dipôle horizontal et en dipôle vertical par la similarité entre les schémas des graphiques et l'exemple de diagrammes précédent.

L'étude de la directivité des sources nous a permis de comprendre comment la polarité et la position de celles-ci affectent la directivité, et comment on peut déterminer cette polarité à partir des diagrammes obtenus. On peut donc trier les sources en fonction de leur directivité, mais aussi utiliser ces diagrammes à des fins plus poussées, comme localiser la source de bruit et pouvoir limiter les dégâts qu'elle pourrait causer dans la vie quotidienne par exemple.

# Chapitre 7

## Conclusion du rapport et perspectives

Ce stage m'a beaucoup aidée sur différents terrains. J'ai été amenée à découvrir la spécialité de l'antennerie acoustique, qui m'était inconnue auparavant, et ai pu expérimenter dans un domaine qui me plaît réellement, ce que j'ai toujours aimé faire à travers les Travaux Pratiques scolaires. J'ai été exposée à de nombreux concepts et termes scientifiques de master, ce qui m'a permis de prendre de l'avance sur mon niveau universitaire mais aussi de réaffirmer ma position quant à l'acoustique et la carrière que je souhaite entreprendre.

Mes compétences en informatique, notamment en python, se sont améliorées, ce qui est utile car nous étudions principalement le C en licence, et je peux mieux déchiffrer et même écrire des programmes de traitement de données d'un niveau supérieur au mien. De plus, j'ai compris comment fonctionnaient les boucles d'acquisition du signal, et sait comment mettre en place une expérience pour effectuer une telle acquisition. Je comprends mieux comment fonctionne une salle anéchoïque, connais parfaitement le fonctionnement de celle de Jussieu mais aussi celui de la salle MODO à Saint-Cyr, avec l'idée qui en fut la source grâce à la thèse de Hugo Dumontis. Enfin, je peux pratiquer correctement une expérience avec des antennes fragiles de 8 ou 32 microphones dans de telles salles pour étudier la diversité de sources.

Tous mes remerciements à M. François Ollivier, Matthieu Neuens et Matthieu Hartstein pour m'avoir permis d'intégrer un milieu qui m'impressionnait en m'étant auparavant peu connu, et au secrétariat et à Mme Catherine Weisman pour avoir réagi rapidement et m'avoir permis de saisir une telle occasion. Enfin, un grand merci à la regrettée Mme Hélène Dumontet, avec qui j'ai pu échanger à de nombreuses occasions au sujet de mon stage et qui a gracieusement validé ma convention.

# Bibliographie

- [1] Institut Jean le Rond d'Alembert. Page d'accueil du site du laboratoire. <http://www.dalembert.upmc.fr/ijlarda/>, 2007. (année de création).
- [2] Institut Jean le Rond d'Alembert. Page d'accueil du site de l'équipe mpia. <http://www.dalembert.upmc.fr/mpia/>, 2007. (année de création).
- [3] Edgar Y. Choueiri Joseph G. Tylka. On the calculation of full and partial directivity indices. In *3D3A Lab Technical Report n°1*. Princeton University, Princeton, NJ 08544, États-Unis, 2016. 3D Audio and Applied Acoustics Laboratory.
- [4] Master SPI Acoustique. Pdf : Principe de la formation de voies. FSI Sorbonne, 4 pl. Jussieu, 75005, France, 2018. .
- [5] Hugo Demontis. *Identification de sources acoustiques complexes en milieu réverbérant par grands réseaux de microphones*. PhD thesis, FSI Sorbonne, 4 pl. Jussieu, 75005, France, 12 2019.