

Isolation acoustique en ville à l'aide de métamatériaux

Les métamatériaux et leurs propriétés surprenantes, notamment dans le domaine de l'optique et de l'acoustique, suscitent particulièrement mon intérêt. C'est pour cela que j'ai donc décidé de les étudier afin de mieux comprendre leurs caractéristiques et de pouvoir les exploiter au profit de la ville.

Les villes sont très sujettes à la pollution, y compris la pollution sonore. Le but est de trouver une solution aux nuisances sonores dues par exemple au passage de trains, de voitures. On s'intéresse à l'utilisation des métamatériaux qui semblent être un bon moyen de diminuer cette pollution sonore citadine.

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- BONDIL Pauline
- RAYNARD Maël

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), PHYSIQUE (Physique de la Matière), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>réseaux</i>	<i>lattice</i>
<i>résonateurs acoustiques</i>	<i>acoustic resonators</i>
<i>Helmoltz</i>	<i>Helmoltz</i>
<i>résonance</i>	<i>resonance</i>
<i>modèle</i>	<i>model</i>

Bibliographie commentée

La pollution sonore urbaine impacte fortement le monde vivant : les êtres humains mais aussi la faune et la flore. Cette pollution sonore a donc des conséquences sur notre environnement et notre écosystème auxquelles il faut remédier. Cette préoccupation de l'isolation sonore dans les villes est un enjeu multiple qui prend de plus en plus d'ampleur, et différentes technologies (plus ou moins respectueuses de l'environnement) sont développées par des ingénieurs afin de **limiter ces nuisances sonores**. Des solutions existent, et notamment dans la majorité des installations, l'isolation phonique est favorisée. Cependant même si ces méthodes sont efficaces dans des espaces clos, elles posent problème à grande échelle, dans un milieu ouvert, à cause des différentes **réflexions des ondes sonores**.

Une nouvelle technologie a alors vu le jour, les **métamatériaux** [3] (de méta du grec : au-delà)Il s'agit dans leur utilisation commune d'une **structure périodique** de matériaux (diélectriques ou métalliques le plus souvent) n'existant pas naturellement et aux propriétés innovantes. Il existe une grande variété de métamatériaux, et malgré leur découverte récente [7]/[8] , ils sont déjà largement utilisés, ayant des applications dans divers domaines. En effet, ils sont utiles à la protection urbaine avec des propriétés antisismiques utilisées notamment à Grenoble, ou encore ils permettent une protection contre la Houle. En effet la ville de Marseille par exemple s'est déjà appropriée ce modèle afin de protéger ses littoraux. Par ailleurs, en électromagnétisme, ils permettent un indice de réfraction négatif grâce à leur permittivité et leur perméabilité négative. Ces propriétés sont très en vogue pour les créations de « capes d'invisibilité ayant notamment des applications militaires avec les avions furtifs. Ainsi, l'utilisation d'un modèle analogique en acoustique pourrait nous permettre de créer de même cette « cape d'invisibilité », mais il s'agirait cette fois d'**annihiler des nuisances sonores**.

Dans ce but, la résonance de l'air dans une cavité étudiée par Hermann Helmholtz dans les années 1850 est un phénomène aux propriétés intéressantes. En effet, selon la manière dont on l'utilise, le **modèle du résonateur de Helmholtz** [1],[6],[2](reposant sur la résonance de cavité dans deux cylindres de diamètres différents) permet d'amplifier ou d'atténuer significativement l'intensité sonore. Cette seconde caractéristique va dans le sens de notre objectif d'isolation acoustique. Cependant, la réaction du résonateur à une fréquence donnée va dépendre de la fréquence de résonance du résonateur, il faudra donc mettre en place des méthodes pour déterminer cette dernière de façon précise, c'est à dire avec une approche à la fois théorique et expérimentale, notamment à l'aide de l'effet Larsen. [6],[4]

Par ailleurs les métamatériaux sont avant tout une répétition à grande échelle d'un même schéma, donnant à l'ensemble les propriétés qui nous intéressent. Ainsi, l'utilisation d'un réseau supposé infiniment petit serait alors cohérent avec ce modèle et permettrait donc théoriquement une **réduction significative de l'intensité sonore**. Plusieurs types de réseaux peuvent alors être exploités [5] : des réseaux triangulaires, carrés ,hexagonaux. Les réseaux hexagonaux semblent cependant être la solution idéale. Ainsi, **combinaison réseau et résonateurs** pourrait être un outil efficace pour réduire de façon significative l'intensité sonore en ville.

Problématique retenue

L'isolation d'une rue longeant une voie ferrée est-elle possible à l'aide d'un réseau de résonateurs ?

Objectifs du TIPE

Afin de répondre à la problématique retenue, l'objectif est d'étudier le modèle du résonateur dans un premier temps et pour cela, j'aimerais mettre en place un protocole me permettant de déterminer les fréquences de résonance expérimentalement, possiblement en utilisant l'effet Larsen. Puis, après avoir relevé des mesures expérimentales aux abords d'une voie ferrée, je souhaite créer un résonateur de Helmholtz adapté pour atténuer ces fréquences. Il s'agira ensuite de créer un modèle réduit, adapté aux conditions réelles, du système réseau-résonateur pour isoler une rue longeant une

voie ferrée.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] FRÉDÉRIK BERNARDOT, JANINE BRUNEAUX, JEAN MATRICON, : Un archétype d'oscillateur : le résonateur de Helmholtz : *BUP n°845*
- [2] Résonateurs de Helmholtz : *Rapport INSA Rouen*
- [3] Les métamatériaux en optique, acoustique et mécanique : *Epreuve commune de TIPE 2014*
- [4] FABRICE LEMOULT : Manipulation des ondes acoustique dans un milieu localement résonateur : *Focalisation et contrôle des ondes en milieux complexes et localement résonants (archives-ouvertes.fr)*
- [5] Cristaux phoniques :
<https://fac.umc.edu.dz/fstech/cours/Electronique/Master%20ELN/Master%20MicroELN/Bouchemat/Cours%20Cristaux%20photoniques%20M1%20Micro%20C3%A9lectronique.pdf>
- [6] AMBROISE BOYER, CHLOÉ LEBLANC, AYMERIC MOLINIER, LILIEN SAUVAGE : Les résonateurs de Helmholtz : <https://docplayer.fr/37551867-Notre-etude-a-porte-sur-la-propagation-du-son-dans-des-objets-de-la-vie-de-tous-les-jours-beaucoup.html>
- [7] SÉBASTIEN GUENNEAU : Les surprenantes propriétés des métamatériaux :
<https://lejournel.cnrs.fr/billets/les-surprenantes-proprietes-des-metamateriaux#:~:text=Qu%27est%20ce%20qu%27un,sont%20pour%20le%20moins%20surprenante>
- [8] MATHIEU GROUSSON : Métamatériaux, l'invisibilité réinventée :
<https://lejournel.cnrs.fr/articles/metamateriaux-linvisibilite-reinventee>
- [9] P. WALDER & C. HUGONNET : Théorie et pratique de la prise de son stéréophonique : *ISBN 221209809X*
- [10] CLÉMENT LAGARRIGUE : Métamatériaux performants dans la gamme des fréquences audibles : simulations et validations expérimentales : <https://theses.hal.science/tel-02003586>

DOT

- [1] *Avril/Mai 2022 : Première étude théorique et pratique autour du modèle de Helmholtz : utilisation de canettes vides en tant que résonateurs, calcul d'une fréquence de résonance et exploitation pratique.*
- [2] *Octobre/Novembre 2022 : Essai d'atténuation sonore en utilisant un tube en PVC bouché de chaque coté et percé à intervalles réguliers : abandon de cette manipulation qui s'avérait infructueuse.*
- [3] *Décembre 2022 : Mise en place d'un mur de résonateurs à l'aide de canettes, tout d'abord à l'horizontale puis à la verticale. Obtention de premiers résultats exploitables.*
- [4] *Janvier/Février 2023 : Etude du modèle du réseau de Bragg et calcul de la période du réseau puis mise en place expérimentale d'un réseau de résonateurs.*
- [5] *Mars 2023 : Rencontre par vidéo conférence avec Fabrice Lemoult, maître de conférence à l'ESPCI afin de lui exposer nos résultats et nos manipulations.*
- [6] *Avril 2023 : Fabrication d'un gradient de résonateurs et validation des résultats*

expérimentaux.