

Atténuation sonore par un mur grâce aux résonateurs de Helmholtz

En soufflant sur des bouteilles de différentes formes on constate un son émis qui diffère à chaque fois. Curieux de comprendre ce phénomène, nous découvrons la résonance de Helmholtz pouvant être utilisée pour corriger le son. Nous nous demandons alors si on peut s'en servir pour l'isolation acoustique en ville.

Nous allons présenter une méthode qui permet de réduire les nuisances sonores urbaines en utilisant la structure des murs des bâtiments. On pourrait en effet y incorporer des cavités particulières, qui font l'objet de notre étude, pour permettre une meilleure atténuation du bruit de la ville.

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

Liste des membres du groupe :

- MAJDOLIN Chihab

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- *PHYSIQUE (Physique Ondulatoire)*

- *INFORMATIQUE (Informatique pratique)*

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français) Mots-clés (en anglais)

Résonance de Helmholtz *Helmholtz resonance*

Intensité sonore *Sound intensity*

Atténuation sonore *Sound attenuation*

Cavité résonante *Resonant cavity*

Fréquence propre *Eigenfrequency*

Bibliographie commentée

Les cavités résonantes ne sont pas une invention récente. Elles datent de l'antiquité où elles furent utilisées dans les murs des théâtres grecs et romains afin d'y corriger l'acoustique des voix des personnages et d'optimiser leur propagation. C'est Marcus Vitruvius (ou Vitruve), 1er siècle av. J-C, qui évoqua le premier l'acoustique des constructions dans son traité d'architecture « De Architectura ». En son honneur les cavités murales antiques ont été nommées « vases de Vitruve ». Ces formes architecturales seront plus tard employées dans d'autres bâtiments, notamment dans les églises et les mosquées. [1]

Hermann Von Helmholtz (1821-1894) a étudié ces cavités à l'époque moderne, et celles-ci porteront alors son nom. Il découvre qu'il peut s'en servir pour décomposer un son en plusieurs

harmoniques, et en éliminer certaines. Plus tard, en 1915, Lord Rayleigh (1842-1919) effectue une étude théorique plus approfondie et plus rigoureuse du phénomène dans son livre : « The theory of the Helmholtz resonator ». [2]

L'approche théorique figurant dans ce livre aboutit au fait que la masse d'air dans le col de la cavité résonne pour des fréquences caractéristiques qui dépendent principalement de la géométrie. Le son incident fait alors osciller cette masse, et lorsqu'il contient l'harmonique qui correspond à la fréquence de résonance propre à la cavité, cette masse oscille avec une phase opposée à celle de l'harmonique en question, et par suite elle empêche sa propagation au sein du système. Il advient alors qu'une partie de l'onde incidente est atténuée par le résonateur.[3]

Cependant, les fréquences propres de ces cavités simples sont imposées par leur géométrie, cette dernière étant contrainte dans notre cas d'étude puisqu'on compte les implanter au sein des murs. La difficulté est donc de couvrir une bande de fréquences qui varient de quelques centaines de hertz jusqu'à quelques kilohertz en utilisant des cavités de tailles raisonnables [4].

Dans cet esprit des chercheurs contemporains ont proposé des variantes des résonateurs de Helmholtz, avec des géométries plus complexes, allant d'une mise en série de ces derniers jusqu'à la conception de structures fractales. [5] Ceci dans le but de pouvoir sélectionner des harmoniques de pulsations plus élevées et d'atteindre des gains en atténuation plus importants.

Pour réaliser cette objectif, Toyoda Masahiro, Rui Lin Mu et Daiji Takahashi – entre autres chercheurs – ont conçu des plateaux micro-perforés (MPP) qu'ils insèrent à l'intérieur de la cavité.[6] D'autres travaux comme celui réalisé par Valentin Chollet [7] tentent de combiner la résonance de Helmholtz et la méthode d'isolation par matériaux poreux. Dans ce cas, l'absorbant poreux est généralement placé derrière le panneau absorbant pour augmenter la résistance acoustique du système. [8]

Problématique retenue

Comment pouvons-nous manipuler les paramètres géométriques des résonateurs de Helmholtz pour contourner leurs limitations de fréquences et de gain, et ainsi permettre une meilleure atténuation des nuisances sonores en milieu urbain ?

Objectifs du TIPE du candidat

- Étudier la mise en série de plusieurs résonateurs : d'abord le cas de deux puis de n résonateurs.
- Examiner l'impact de l'ajout de couches perforées au sein de la cavité résonante.
- Modéliser grâce à des outils informatiques les résultats de l'étude théorique.
- Tester la validité de mon étude à travers des expériences qui permettront de calculer le coefficient de réduction du bruit pour chaque solution.

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] MARCUS P. VITRUVIUS : The Complete Works of Marcus Vitruvius Pollio : ISBN: 978 1 78877 973 9 - Edition: Delphi Classics, 2019
- [2] JOHN W. RAYLEIGH : The theory of the Helmholtz resonator : *Journal: Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character* - 1916
- [3] HAO TANG : Helmholtz resonators : MIT CSAIL <https://people.csail.mit.edu/haotang/notes/helmholtz-resonators.html>
- [4] J. BOSSARD, C. SALMON, C. TARTENSON, D. TURCAN : Résonateur de Helmholtz : INSA ROUEN *Projet de Physique P6 STPI/P6/2020_38*
- [5] FRÉDÉRIC BERNARDOT, JANINE BRUNEAUX, JEAN MATRICON : Un archétype d'oscillateur : le résonateur acoustique de Helmholtz : *Bulletin de l'Union des Physiciens (1055) Vol.96 Juin 2002*
- [6] T. MASAHIRO, M. RUI LIN, T. DAIJI : Relationship between Helmholtz-resonance absorption and panel-type absorption in finite flexible microperforated-panel absorbers : *Applied Acoustics 2010, 71(4): 315-320 url :http://hdl.handle.net/2433/95081*
- [7] VALENTIN CHOLLET : Développement d'un traitement acoustique basses-fréquences à bases de résonateurs d'Helmholtz intégrés pour application aéronautique : *Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Septembre 2016 url : https://core.ac.uk/download/pdf/51342241.pdf*
- [8] SAKAGAMI, KIMIHIRO, KOBATAKE, SEIJI, KANO, KEN'ICHI, ET AL : Sound absorption characteristics of a single microperforated panel absorber backed by a porous absorbent layer : *Acoustics Australia, 2011, vol. 39, no 3*

DOT

- [1] : Juin 2022: Recherche d'un sujet abordable et traitant un des problèmes urbains. On choisit à priori les cavités à forme de fractales d'Hilbert avant de changer ce choix en Juillet 2022.
- [2] : Août 2022: Contact de Mr. Belhadj, ingénieur en génie civil au près de chez Tanger Med, qui orienta notre travail en nous indiquant les contraintes et le cahier de charges à respecter lors de la conception des solutions acoustiques dans les bâtiments.
- [3] : Août 2022- Octobre 2022: Documentation et étude théorique du phénomène de la résonance de Helmholtz.
- [4] : Novembre 2022: Préparation du protocole expérimental, achat du matériel.
- [5] : Fin Décembre 2022 - Janvier 2023: Plusieurs visites chez le menuisier pour fabriquer des cavités avec des formes bien précises.
- [6] : Janvier 2023: Réalisation de l'expérience: echec
- [7] : Janvier - Février 2023: Documentation sur la fabrication du tube à impédance et réalisation de l'expérience (succès)
- [8] : Mars - début Avril 2023: Réalisation des modèles de simulation avec COMSOL MULTYPHYSICS et rédaction du rapport et de la présentation du TIPE.

