

**Titre en français :** Trous noirs aéroacoustiques pour la réduction des émissions sonores et des particules fines dans l'atmosphère : Etude numérique et expérimentale

**English title:** Aeroacoustic black holes for the reduction of sound emissions and fine particles in the atmosphere: Numerical and experimental study

**Nom du directeur et co-directrice de thèse :** Cédric Maury – Teresa Bravo

**Tel :** 04.84.52.42.04.

**E-Mail :** cedric.maury@centrale-marseille.fr teresa.bravo@csic.es

**Laboratoire :** Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (LMA UMR 7031)

**Financement :** acquis

**Type de financement :** A\*MIDEX

**Date de démarrage / start date:** 1er octobre 2024 / October 1st, 2024

**Résumé en français :**

L'objectif de zéro émission dans les secteurs des transports et de l'énergie est la clé pour parvenir à un environnement urbain plus résilient au changement climatique et ayant un impact moindre sur la santé de la population. Il s'agit notamment de réduire deux facteurs : les émissions sonores et les émissions de particules fines dans l'atmosphère des véhicules et des infrastructures industrielles. Ce double objectif s'inscrit dans le cadre du projet de recherche international multidisciplinaire AERMES : « Métamatériaux aéro-acoustiques pour la réduction du bruit et des aérosols dans l'atmosphère » (n° AMX-22-RE-AB-157) financé par la fondation AMU A\*MIDEX, regroupant le Laboratoire de Mécanique et Acoustique (LMA), le Conseil National Espagnol de la Recherche (CSIC) et l'Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Équilibre (IRPHE).

L'objectif de cette thèse est de simuler, d'optimiser et de caractériser les performances de silencieux type trous noirs aéro-acoustiques (TNA) afin d'atténuer efficacement les émissions sonores tout en améliorant l'agglomération des particules fines en aérosols de plus grande taille, filtrés par des techniques classiques. L'idée est d'exploiter le ralentissement effectif des ondes sonores se propageant au sein du TNA afin de provoquer des zones de nucléation des particules fines convectées par l'écoulement.

L'étude s'appuiera sur des modélisations (Méthode Eléments Finis, Méthode Lattice Boltzmann – LBM) et des méthodes d'optimisation globale (essais particuliers), qui ont permis de révéler le piégeage et la dissipation totale d'ondes acoustiques au sein de structures TNA, et de leur validation sur banc d'essai acoustique. La simulation de cet effet est illustrée dans la Figure ci-dessous. Cette thèse permettra :

- d'analyser sous quelles conditions l'effet TNA est robuste à la présence d'écoulements à faible nombre de Mach
- de comprendre les mécanismes d'agglomération particuliers induits par le piégeage et le ralentissement des ondes sonores.
- d'optimiser la forme géométrique du silencieux pour maximiser l'effet TNA et l'agglomération particulière tout en minimisant les pertes de charges.
- de réaliser et valider un prototype de TNA augmenté sur banc d'essai aéro-acoustique.

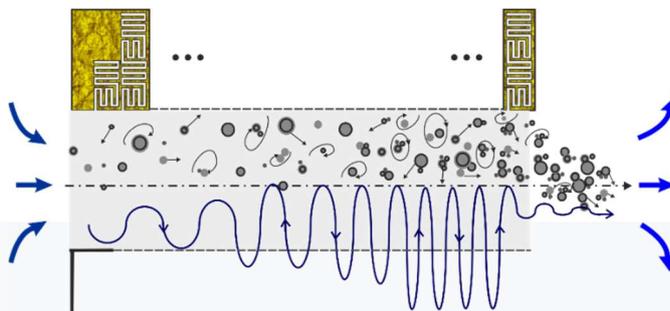
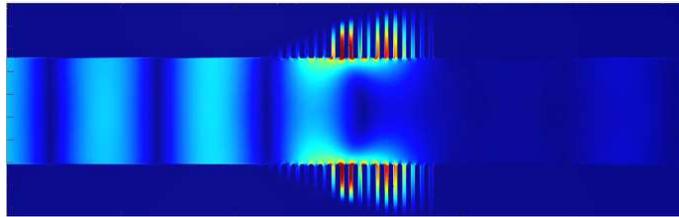


Figure 1. Haut : simulation LBM de l'effet TNA (gauche) et vue intérieure d'un TNA acoustique (droite) – Bas: schéma d'agglomération particulaire (gauche) et banc d'essai aéro-acoustique (droite); Top: LBM simulation of the ABH effect (left) and interior view of an acoustic ABH (right) – Bottom: particle agglomeration diagram (left) and aero-acoustic test bench (right);

### Summary of the research work:

The goal of zero emissions in the transport and energy sectors is the key to achieving an urban environment that is more resilient to climate change and with a lower impact on the health of the population. This notably involves reducing two factors: noise emissions and the emissions of ultrafine particles into the atmosphere from vehicles and industrial infrastructures.

This dual objective is part of the multidisciplinary international research project AERMES: "Aero-acoustic metamaterials for the reduction of noise and aerosols in the atmosphere" (n° AMX-22-RE-AB-157) funded by the AMU A\*MIDEX foundation, bringing together the Laboratory of Mechanics and Acoustics (LMA), the Spanish National Research Council (CSIC) and the Institute for Research on Non-Equilibrium Phenomena (IRPHE).

The objective of this doctoral thesis is to simulate, optimize and characterize the performance of silencers such as aero-acoustic black holes (ABH) in order to effectively attenuate sound emissions while improving the agglomeration of fine particles into aerosols of larger size, readily filtered by traditional techniques. The idea is to exploit the effective slow-down of sound waves entering the ABH, in order to produce nucleation zones of the ultra-fine particles convected by the flow.

The study will be based on modeling (Finite Element Method, Lattice Boltzmann Method) and global optimization methods (particle swarms), which enabled to reveal the trapping and total dissipation of acoustic waves within ABH structures, experimentally validated on an acoustic test bench. The simulation of this effect is illustrated in the Figure above. The thesis tasks will be as follows:

- to analyze under which conditions the ABH effect is robust to the presence of low Mach number flows.
- to understand the particle agglomeration mechanisms induced by the trapping and slow-down of acoustical waves.
- to optimize the geometric shape of the silencer to maximize the ABH effect and particle agglomeration while minimizing the pressure and viscous drags.
- to design and validate an eco-friendly ABH prototype on an aero-acoustic test bench.

**Profil du/de la candidat(e) recherché(e) :** Titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'école d'ingénieurs, le (ou la) candidat(e) aura des compétences en acoustique et mécanique des fluides ainsi qu'un intérêt pour la simulation numérique et les méthodes expérimentales. Une bonne maîtrise de l'anglais (lu, parlé, écrit) est souhaitée.

**Candidate profile:** Holding a Master 2 or a post-graduate engineering school diploma, the candidate will have skills in acoustics and fluid mechanics as well as an interest in computational modelling and experimental methods. Good level in English (read, spoken, written).

**Publications sur le sujet :**

- Ng BF, Xiong JW, Wan MP (2017) Application of acoustic agglomeration to enhance air filtration efficiency in air-conditioning and mechanical ventilation (ACMV) systems. PLoS ONE12(6): e0178851. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178851>
- Deaconu M, Radulescu D, Vizitiu G (2018) Acoustic study of different mufflers based on metamaterials using the black hole principle for aircraft industry, In: Proceedings of Euronoise 2018, pp. 2271–2276, Heraklion, Greece.
- Bravo T, Maury C (2023) Broadband sound attenuation and absorption by duct silencers based on the acoustic black hole effect: Simulations and experiments. Journal of Sound and Vibration 561:117825. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2023.117825>
- Maury, C, Bravo, T (2023) Vibrational Effects on the Acoustic Performance of Multi-Layered Micro-Perforated Metamaterials. Vibration, 6, 695-712. <https://doi.org/10.3390/vibration6030043>
- Maury, C, Bravo T, Mazzone D (2021) Absorption and transmission of boundary layer noise through micro-perforated structures: measurements and modellings. In: FLINOVIA - Flow-Induced Noise and Vibrations Issues and Aspects - III, pp. 227–258, Springer Nature, Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64807-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64807-7_11)

**Insertion professionnelle après thèse :**

- Publique : enseignement et/ou recherche dans les universités, écoles d'ingénieur, organismes de recherche (CNRS, ONERA, etc.).
- Privée : recherche & développement et/ou bureau d'études dans les entreprises du secteur industriel.