Title: Electro-active boundary control for noise mitigation: Local and Advective strategies

Abstract

Boundary treatment for noise mitigation has long been targeted by both passive and active

noise control strategies. Applications range from building and vehicle sound comfort, to the

more challenging reduction of the noise radiated from aircraft engines. On the one hand the

passive absorbing materials are not a\_ected by stability problems but are usually bulky and

not much performant in su\_ciently large bandwidths in the low-frequency range. On the

other hand, classical active noise control systems are very much a\_ected by modi\_cation of

the external acoustic environments, such as changes in the furniture of a room, or variation

of the \_ow-speed and incident angle in an aircraft nacelle. In this perspective, the impedance

control strategy provides an e\_cient way to assure stability independently from the external

acoustic environment. In this thesis, the impedance control concept is deeply investigated

and enlarged.

The \_rst chapter is an introduction on the boundary treatment theoretical problem and stateof-

art technologies (both passive and active). This introduction helps in the understanding

of both limitations and spaces for improvements. Special attention is given to the problem of

noise attenuation by boundary treatment of the parietal walls of an acoustic waveguide, as

the industrial objective of this thesis is to provide an alternative solution to liners for the new

generation of ultra-high-bypass-ratio (UHBR) turbofans. The second chapter analyses the

potentialities of the pressure-based, current-driven impedance control technique to overcome

the passive absorbing material limitations. The stability constraints of such impedance control

are investigated analytically, numerically and experimentally, especially with respect to the

inevitable time delay, and a practical solution to enlarge the stability margins is provided. The

chapter ends with two broadening perspectives for such impedance control technique: theH1

automatic control synthesis approach, and a real-time innovative implementation featuring

tunable non-linear behaviour of the absorber at low excitation amplitudes. The third chapter

deals with a non-local boundary control capable of enhancing the isolation performances of

the (local) impedance control, and of achieving non-reciprocal propagation in guided media.

Such strategy is an enlargement of the classical impedance control, featuring convection of

the surface reaction in a prescribed direction along the boundary itself. Analytical tools,

along with numerical simulations are developed to fully characterize both performances and

limitations of such boundary control concept. Finally, experimental tests validate its nonreciprocal

character, its high isolation capabilities, as well as its stability constraints.

**Keywords:** active noise control, impedance control, non-linear absorber, active metamaterials,

acoustic non-reciprocity.

Titre: Contrôle électro-actif des bornes pour l'atténuation du bruit: stratégies locales et d’advection

Résumé

Le traitement aux bornes pour l'atténuation du bruit a longtemps été ciblé par les stratégies

de contrôle du bruit. Les applications vont du confort sonore des bâtiments et des véhicules

au réduction plus pénible du bruit émis par les moteurs d'avions. D'une part, les matériaux

absorbants passifs ne sont pas a\_ectés par des problèmes de stabilité mais sont généralement

volumineux et pas très performant dans des bandes su\_samment larges dans la gamme des

basses fréquences. D'autre part, les systèmes classiques de contrôle actif du bruit sont fortement

in\_uencés par la modi\_cation des environnements acoustiques externes, tels que les

modi\_cations du mobilier d'une pièce, ou la variation de la vitesse et de l'angle d'incidence

dans une nacelle d'avion. Dans cette perspective, la stratégie de contrôle d'impédance o\_re

un moyen e\_cace pour assurer la stabilité indépendamment de l'environnement acoustique.

Dans cette thèse, le concept de contrôle d'impédance est approfondi et élargi.

Le premier chapitre est une introduction au problème théorique du traitement aux bornes et

à l'état de l'art des technologies existantes (à la fois passives et actives). Cette introduction

aide à comprendre soit les limites soit les espaces pour améliorer. Une attention particulière

est accordée au problème d'atténuation du bruit par traitement aux bornes des parois d'un

guide d'ondes acoustique, vu que l'objectif industriel de cette thèse est de proposer une solution

alternative aux liners pour les nouveaux génération de turboréacteurs à ultra-grand taux

de des dilution (UHBR). Le deuxième chapitre analyse les potentialités de la technique de

contrôle d'impédance pilotée par le courant et basée sur la pression pour surmonter les limites

des matériaux absorbants passifs. Les contraintes de stabilité d'un tel contrôle d'impédance

sont étudiés analytiquement, numériquement et expérimentalement, en particulier en ce qui

concerne l'inévitable retard, et une solution pratique pour élargir les marges de stabilité

est fournie. Le chapitre se termine par deux perspectives qui élargissent telle technique de

contrôle d'impédance: l'approcheH1 de synthèse de contrôle automatique, et une implémentation

en temps réel innovante qui permet d'atteindre comportement non linéaire réglable de

l'absorbeur à faibles amplitudes de l'excitation. Le troisième chapitre traite d'un contrôle au

bornes non local capable d'améliorer les performances d'isolation par rapport à la commande

d'impédance (locale), et d'obtenir une propagation non réciproque dans des milieux guidés.

Une telle stratégie est un élargissement du contrôle d'impédance classique, avec convection

de la réaction de surface dans une direction prescrite le long de la frontière elle-même. Outils

analytiques, ainsi que des simulations numériques sont développées pour caractériser pleinement

les performances et limites d'un tel concept de contrôle de frontière. En\_n, des tests

expérimentaux valident son caractère non-réciproque, ses capacités d'isolation élevées, ainsi

que ses contraintes de stabilité.

**Mots-clés**: contrôle actif du bruit, contrôle d'impédance, absorbeur non linéaire, métamat

ériaux actifs, non-réciprocité acoustique.