Laboratoire d'Energétique Moléculaire
& Macroscopique, Combustion
EM2C – UPR288

Avis de Soutenance

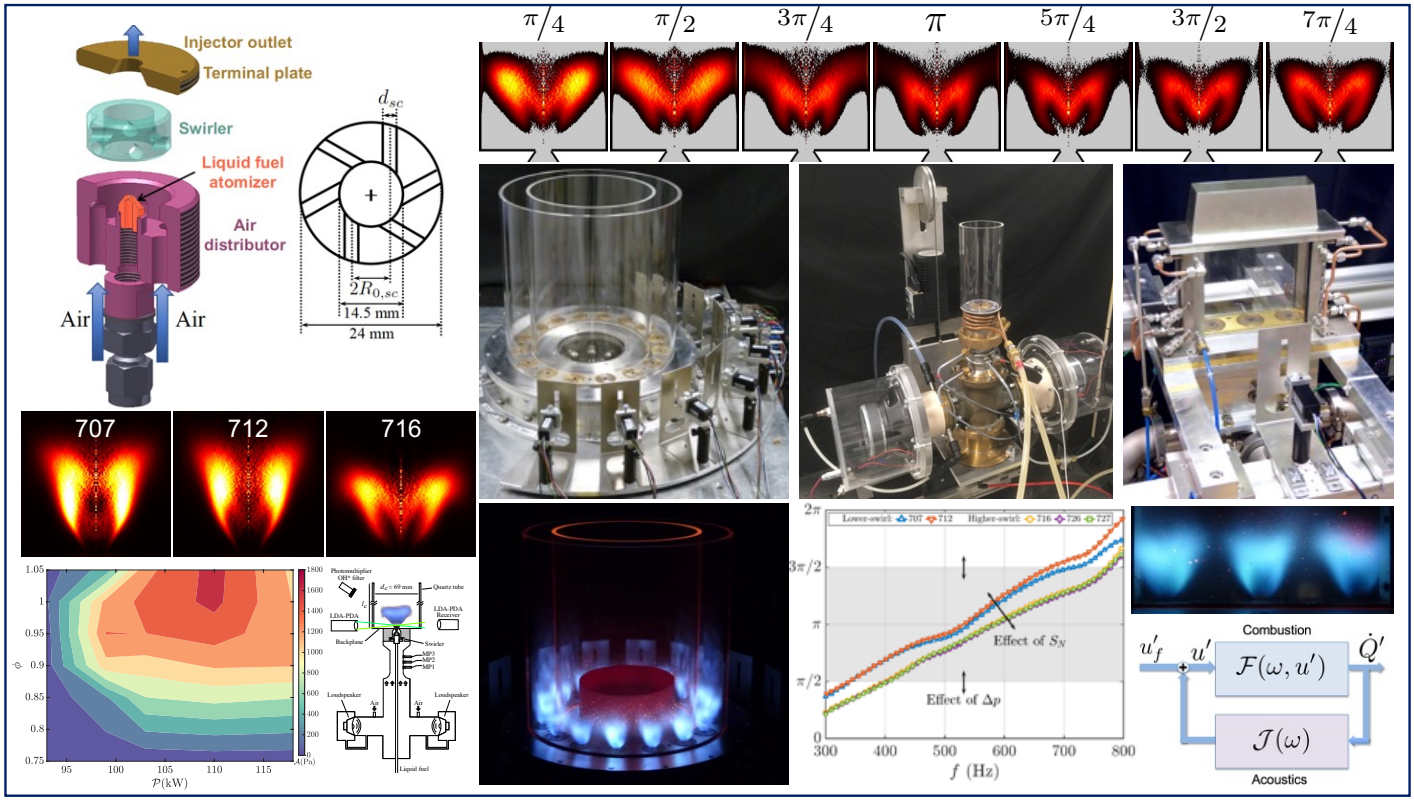
Preethi Rajendram Soundararajan

soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Investigation of combustion instabilities in annular combustors combining injector dynamics and flame describing functions determined in simplified configurations

Etude des instabilités de combustion dans les foyers annulaires en considérant la dynamique des injecteurs et les fonctions descriptives des flammes déterminées dans des configurations simplifiées

dirigés par **Pr. Sébastien Candel, Dr. Daniel Durox et Dr. Antoine Renaud**
le **jeudi 7 Juillet** à 14h00
À CentraleSupélec, 3 rue Joliot-Curie, 91192 Gif-sur-Yvette Cedex
Théâtre Rousseau (Bâtiment Bouygues)



Composition du jury

Thierry Poinsot	Research Director, CNRS, Université de Toulouse, IMFT	Rapporteur
Nicolas Noiray	Associate Professor, ETH Zürich	Rapporteur
James Dawson	Professor, Norwegian University of Science and Technology	Examinateur
Françoise Baillot	Professor, Université de Rouen	Examinatrice
R. I. Sujith	Professor, Indian Institute of Technology, Madras	Examinateur
Christian Oliver Paschereit	Professor, TU Berlin	Invité
Sébastien Candel	Emeritus Professor, CentraleSupélec, U. Paris-Saclay	Directeur de these
Daniel Durox	Research Engineer, Consultant	Co-encadrant
Antoine Renaud	Assistant Professor, CentraleSupélec, U. Paris-Saclay	Co-encadrant

ÉCOLE DOCTORALE
Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences (SMEMAG)

Laboratoire d'Energétique Moléculaire
& Macroscopique, Combustion
EM2C – UPR288

Title : Investigation of combustion instabilities in annular combustors combining injector dynamics and flame describing functions determined in simplified configurations

Keywords : Combustion instability, annular combustors, flame describing function, swirling injector, spray flames, injector dynamics

Abstract : This thesis addresses some of the central issues in the combustion dynamics of annular systems, essentially focusing on understanding, interpreting, and predicting combustion instabilities coupled with azimuthal modes. These modes are the most detrimental among those encountered in gas turbines and aero-engines as they correspond to the lowest eigenfrequencies where the flame is most sensitive to incoming disturbances. The work specifically considers the case where the flames established in the combustor are formed by a spray of liquid fuel and on injection systems generating a swirling flow, idealizing those found in practical applications. Systematic experiments are carried out on a multiple-injector annular combustor (MICCA-Spray), allowing full optical access to the combustion region and equipped with multiple microphones for identifying the pressure field. These are complemented with measurements of flame describing functions (FDFs) using a single-sector combustor (SICCA-Spray) and another facility featuring an array of three injectors (TICCA-Spray) to better represent the flame environment and boundary conditions corresponding to the annular case. This combination of experiments is used to explore the effects of injection geometry and operating parameters on the occurrence of combustion instabilities. The domains of instability are documented for three fuel types (premixed propane and air, heptane and dodecane) and different values of injector head loss and swirl number. In addition, the instabilities are also found to be sensitive to the location of the atomizer with respect to the injector outlet. Several questions are considered in this work, including the possibility of representing the response of a multi-dimensional flame using the FDF framework and methods to suitably determine FDFs for the class of injectors used, which are weakly transparent to acoustic waves. The comparison between measured FDFs in the single sector and the linear array of three injectors is used to reveal the limitations of data corresponding to an isolated flame in representing the dynamics of flames surrounded by neighbouring flames. The data interpretation based on low-order modeling indicates that many of the features observed experimentally can be predicted by making use of measured FDFs. This, however, requires that the swirling injectors be suitably represented by an injector impedance and that the damping rate be estimated. The analysis underlines the importance of the swirling injector parameters and injection conditions on the occurrence of combustion instability and provides guidelines in sorting out their influence.

Titre : Etude des instabilités de combustion dans les foyers annulaires en considérant la dynamique des injecteurs et les fonctions descriptives des flamme déterminées dans des configurations simplifiées

Mots clés : Instabiliés de combustion, foyers annulaire, fonctions descriptive des flammes, injecture swirlé, flamme de spray, dynamique des injecteurs

Résumé : Cette thèse aborde des questions centrales de la dynamique de la combustion des systèmes annulaires, en se concentrant essentiellement sur la compréhension, l'interprétation et la prédiction des instabilités de combustion couplées aux modes azimutaux. Ces modes sont les plus dangereux parmi ceux rencontrés dans les turbines à gaz et les moteurs d'avion car ils correspondent aux fréquences propres les plus basses où la combustion est la plus sensible aux perturbations auxquelles elle est soumise. Le travail considère spécifiquement le cas où les flammes établies dans la chambre de combustion sont formées par une atomisation du combustible liquide et sur les systèmes d'injection générant un écoulement «swirlé», en rotation idéalisant ceux des applications pratiques. Des expériences systématiques sont réalisées sur une chambre de combustion annulaire comportant des injecteurs multiples (MICCA-Spray), permettant un accès optique complet à la région de combustion et équipée de plusieurs microphones pour identifier le champ de pression. Ces expériences sont complétées par des mesures des fonctions descriptives de flamme (FDF) à l'aide d'une chambre de combustion à secteur unique (SICCA-Spray) et d'une autre installation comportant un réseau linéaire de trois injecteurs (TICCA-Spray) pour mieux représenter l'environnement de la flamme et les conditions aux limites correspondant à la configuration annulaire. Cette combinaison d'expériences permet d'explorer les effets de la géométrie d'injection et des paramètres de fonctionnement sur l'apparition d'instabilités de combustion. Les domaines d'instabilité sont documentés pour trois types de combustible (propane et air prémélangés, heptane et dodécane) et différentes valeurs de perte de charge d'injecteur et de nombre de swirl. De plus, les instabilités se révèlent également sensibles à la position de l'atomiseur par rapport à la sortie de l'injecteur. Plusieurs questions sont envisagées dans ce travail, dont la possibilité de représenter la réponse d'une flamme multidimensionnelle à l'aide d'une représentation par FDF et des méthodes permettant de déterminer convenablement les FDF pour la classe d'injecteurs utilisés, qui sont faiblement transparents aux ondes acoustiques. La comparaison entre les FDF mesurées dans le secteur unique et le réseau linéaire de trois injecteurs est réalisée pour révéler les limites des données obtenues dans le cas d'une flamme isolée dans la représentation de la dynamique de flammes entourées par d'autres flammes. L'interprétation des données basée sur la modélisation d'ordre réduit indique que beaucoup des caractéristiques observées expérimentalement peuvent être prédites en utilisant les FDF mesurées. Ceci nécessite cependant que les injecteurs swirlés soient convenablement représentés par une impédance d'injecteur et que le taux d'amortissement du système soit estimé. L'analyse souligne l'importance des paramètres de l'injecteur swirlé et des conditions d'injection sur l'apparition de l'instabilité de combustion et fournit des lignes directrices pour cerner leur influence.

ÉCOLE DOCTORALE
Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences (SMEMAG)