

Avis de Soutenance

Monsieur Guilhem LAVABRE

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Quantification d'incertitudes dans les simulations aux grandes échelles de flammes d'hydrogène stabilisées par auto-allumage

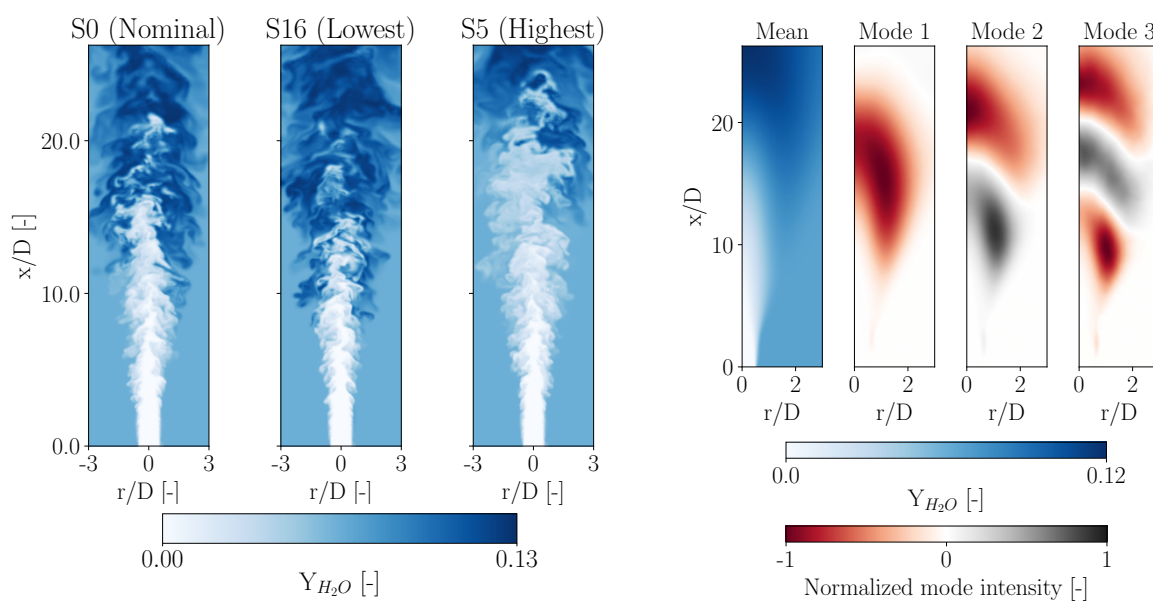
Quantifying uncertainties in Large Eddy Simulations of auto-ignition- stabilized H2 flames

Thèse dirigée par **Prof. Ronan Vicquelin** et encadrée par **Prof. Olivier Gicquel**

Le **mercredi 05 Juillet** à 10h00

A CentraleSupélec, 3 rue Joliot-Curie, 91192 Gif-sur-Yvette Cedex

Amphithéâtre II (Bâtiment Eiffel)



Coupes instantanées de trois réalisations de la flamme de Cabra dans l'espace incertain (Gauche). Moyenne et composantes principales de la flamme de Cabra incertaine (Droite)

Composition du jury

Alessandro Parente
Laurent Selle
Nathalie Lamoureux
Pascale Domingo
Arnaud Mura
Didier Lucor
Ronan Vicquelin
Olivier Gicquel

Professeur, Université Libre de Bruxelles
Directeur de Recherche, CNRS (IMFT)
Ingénieure de recherche, Université de Lille (PC2A)
Directrice de Recherche, CNRS (CORIA)
Directeur de Recherche, CNRS (PPRIME)
Directeur de Recherche, CNRS, (LISN)
Professeur, CentraleSupélec (EM2C)
Professeur, CentraleSupélec (EM2C)

Rapporteur
Rapporteur
Examinatrice
Examinatrice
Examinateur
Examinateur
Directeur de thèse
Encadrant

Titre : Quantification d'incertitudes dans les simulations aux grandes échelles de flammes d'hydrogène stabilisées par auto-allumage

Mots clés : Quantification d'incertitudes, Combustion turbulente, Hydrogène, Jumeau numérique

Résumé : La combustion est une source d'énergie omniprésente dans notre société. Afin de minimiser ses émissions polluantes, dans un contexte où les conditions opératoires et les modèles de calculs sont incertains, nous devons être capables de quantifier les incertitudes de nos simulations prédictives.

Dans cette thèse, nous propageons les incertitudes provenant du mécanisme de cinétique chimique, de mesures expérimentales et du modèle de turbulence à travers la simulation aux grandes échelles (LES) d'une flamme turbulente. Nous choisissons de travailler sur la flamme de Cabra H_2 car son mécanisme de stabilisation principal est l'auto-allumage, ce qui la rend extrêmement sensible aux paramètres qui affectent les taux de réaction. Nous simulons la flamme de Cabra en utilisant une approche basée sur la tabulation de flammelettes instationnaires et sur des PDF présumées. La propagation d'incertitudes repose sur la réduction a priori de la dimension incertaine en utilisant une configuration simplifiée : un réacteur homogène isobare qui s'auto-allume. Une étude Monte-Carlo sur ce réacteur dévoile un comportement très non-linéaire dans la plage d'incertitudes considérée. Ce comportement a été identifié à la transition entre les auto-allumages "faible" et "fort". Cette étude a aussi permis de réduire les incertitudes venant du mécanisme chimique et de la température du co-flow à un espace de dimension 2.

Dans cet espace réduit, une approche basée sur une surface de réponse est réalisée en utilisant seulement un faible nombre d'échantillons LES. Nous étudions également l'influence du coefficient de dissipation de la variance de fraction de mélange. Dans un premier temps, seule l'incertitude de la hauteur de stabilisation de la flamme est quantifiée. Dans un second temps, nous quantifions les incertitudes de toutes les quantités mesurées expérimentalement à toutes les positions dans le domaine de calcul. Cela est rendu possible par une analyse en composantes principales (PCA) et trois surfaces de réponses pour prédire les coefficients des plus importants modes de la PCA.

Title: Quantifying uncertainties in Large Eddy Simulations of auto-ignition-stabilized H_2 flames

Keywords: Uncertainty Quantification, Turbulent combustion, Hydrogen, Digital twin

Abstract: Combustion is a ubiquitous source of energy in our society. To minimize its pollutant emissions in a context where operating conditions and computational models are uncertain, we need to quantify the uncertainties of our predictive simulation results.

In this thesis, we propagate kinetic, experimental, and model uncertainties in the Large Eddy Simulation of a turbulent flame. We chose to work with the H_2 Cabra flame because its main stabilization mechanism is auto-ignition, which makes it extremely sensitive to parameters that impact reaction rates. We simulate the Cabra flame using an unsteady flamelet and presumed PDF approach. The uncertainty propagation relies on an a priori uncertain dimension reduction using a simplified configuration: an auto-igniting homogeneous reactor at constant pressure. An a priori Monte-Carlo study allows highlighting an extremely non-linear phenomenon in the uncertainty range: the transition between weak and strong auto-ignition. It also allows reducing the uncertainty coming from the co-flow temperature and kinetic mechanism to a mere two dimensions.

In this reduced space, a surrogate-model-based approach is viable using a limited number of LES observations. We later investigate the sensitivity of the simulation to the dissipation coefficient of mixture fraction variance. We first quantify the uncertainty of the Cabra flame lift-off height. Then, we turn our gaze towards the quantification of uncertainties of every experimentally measured quantity at every location in the computational domain. This is done using a Principal Component Analysis on the training samples and three surrogate models to predict the coefficients of the most contributing modes brought forth by the PCA.

