

**Avis de soutenance**

Madame Benedetta Franzelli

Soutiendra publiquement ses travaux de HDR intitulés

***Characterization and modelling of turbulent multi-phase flames***

*Caractérisation et modélisation des flammes turbulentes multiphasiques*

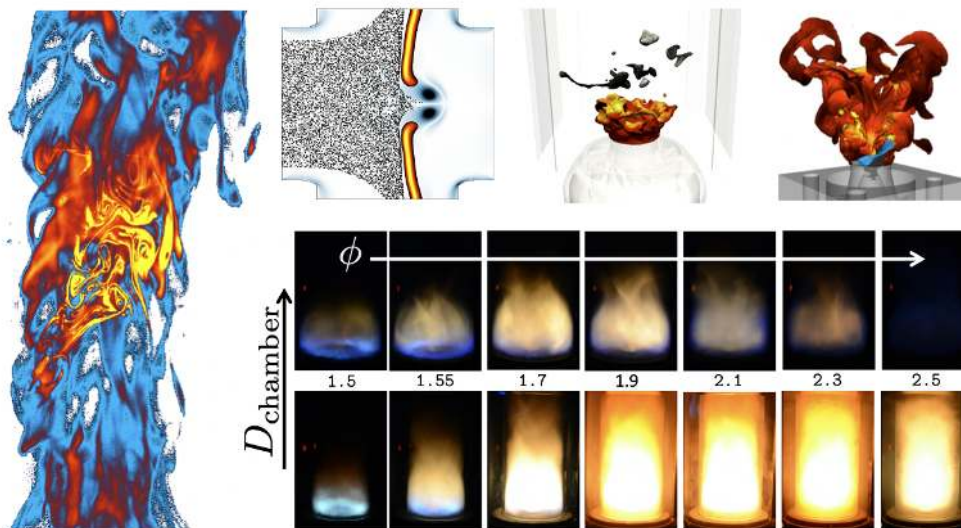
effectués au laboratoire EM2C

Le **Lundi 7 Mars 2022 à 15H00**

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

Théâtre Rousseau (Bâtiment Bouygues)

Retransmission: <https://bit.ly/3LxJ00c>



Composition du jury:

Dr. Pascale Domingo  
Pr. Andreas Kempf  
Prof. Christine Rousselle  
Dr. Pascale Degroux  
Pr. Matthias Ihme  
Dr. Thierry Poinot  
Dr. Denis Veynante  
Pr. Sébastien Candé  
Pr. Nasser Darabiha

CORIA (CNRS/INSA Rouen)  
Université de Duisburg-Essen  
PRISME (Université d'Orléans)  
PC2A (Université de Lille/CNRS)  
Stanford University  
IMFT (CNRS/Université de Toulouse)  
EM2C (CNRS/CentraleSupélec)  
EM2C (CNRS/CentraleSupélec)  
EM2C (CNRS/CentraleSupélec)

Rapporteur  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examinatrice  
Examineur  
Examineur  
Examineur  
Invité  
Invité

**Titre:** Caractérisation et modélisation des flammes turbulentes multiphasiques

**Mots clés:** Flammes turbulentes, flammes de spray, nano-particules de suies et de  $\text{TiO}_2$ , simulations numériques directes, simulations aux grandes échelles, diagnostics optiques

**Résumé:** La réduction des émissions des systèmes de combustion telles que le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote ou les particules de suies représente un objectif à court terme vers une énergie plus respectueuse de l'environnement. Elle nécessite une parfaite compréhension et maîtrise de tous les phénomènes complexes mis en jeu par la combustion turbulente multiphasique qui caractérisent habituellement les brûleurs industriels.

Les activités de recherche présentées s'inscrivent dans ce cadre, en se concentrant sur la compréhension et la modélisation des effets de la turbulence sur les flammes turbulentes multiphasiques en combinant études expérimentales, théorie, modélisation et simulations. La complexité des écoulements turbulents réactifs provient des phénomènes locaux et multi-échelles qui les régissent et induisent un couplage fort entre l'écoulement turbulent et la flamme. Une difficulté supplémentaire est introduite par la phase dispersée, liquide (spray) et/ou solide (suies), dans le cas des régimes multiphasiques.

Afin de comprendre et de modéliser aussi finement que possible ces phénomènes multi-échelles couplés complexes, le front de flamme tridimensionnel turbulent peut être vu comme un ensemble de flammes laminaires unidimensionnelles étirées et déformées par les tourbillons de l'écoulement turbulent. Sur la base de ce concept dit de "flammelette", il est nécessaire dans un premier temps d'étudier les processus physiques qui gouvernent les flammes laminaires stationnaires pour comprendre la nature des phénomènes sans aucune interaction avec la turbulence. C'est à partir de ces configurations simples que des modèles de simulations numériques et des diagnostics optiques pour la caractérisation expérimentale peuvent être développés. Ensuite, les effets instationnaires sur le front de flamme sont étudiés sur des configurations académiques telles que les interactions flamme-vortex ou les flammes laminaires pulsées, pour isoler et caractériser l'effet d'une perturbation bien contrôlée sur le front de flamme. Enfin, des flammes turbulentes tridimensionnelles sont étudiées numériquement et expérimentalement pour identifier les couplages flamme-turbulence, spray-flamme-turbulence et flamme-suies-turbulence.

Basés sur le concept de "flammelette", plusieurs études sur la caractérisation, la compréhension et la modélisation des écoulements réactifs multiphasiques sont présentées selon trois thèmes:

1. Impact de la description chimique sur la prédiction de la structure d'une flamme turbulente;
2. Extension des concepts de modélisation pour la combustion purement gazeuse aux flammes de spray;
3. Caractérisation et modélisation des effets de la turbulence sur la production de suies en termes de quantités globales ainsi que des caractéristiques de la population de particules.

L'expertise développée sur la description de cinétiques, sur les flammes de spray et sur la production de suies dans les flammes turbulentes permet aujourd'hui l'étude de la synthèse de nano-particules dans des flammes de spray, qui représente une alternative prometteuse pour leur production à grande échelle pour un faible coût. De premiers travaux expérimentaux et numériques sur la synthèse de nanoparticules de  $\text{TiO}_2$  sont donc présentés comme perspectives de recherches.

**Title:** Characterization and modelling of turbulent multi-phase flames

**Keywords:** Turbulent flames, spray flames, soot and TiO<sub>2</sub> nano-particles, direct numerical simulations, large-eddy simulations, optical diagnostics

**Abstract:** The reduction of combustion systems emissions such as carbon monoxide, nitrogen oxides or soot represents a short-term goal towards more environmentally friendly energy. This requires a complete comprehension and control of all complex phenomena involved in multi-phase turbulent combustion that usually characterize the industrial burners.

The presented research activities fall within this framework, by focusing on the comprehension and modeling of turbulence effects on multi-phase turbulent flames with complementary experimental studies, theory, modelling and simulations. The difficulty in studying reactive turbulent flows comes from the local and multi-scale phenomena that govern them and induce a strong coupling between the turbulent flow and the flame. An additional difficulty is introduced by the dispersed phase, liquid (spray) and/solid (soot), in the case of multi-phase regimes.

In order to deeply understand and model such intricate coupled multi-scale phenomena, the turbulent three-dimensional flame front can be seen as a collection of one-dimensional laminar flames stretched and deformed by the action of the eddies of the turbulent flow. Based on this so-called 'flamelet' concept, it is necessary to study the physical processes that take place in stationary laminar flames as a first step to understand the nature of the phenomena without any interaction with turbulence. It is from these simple configurations that models for numerical simulations and optical diagnostics for the experimental characterization can be developed. Then, the unsteady effects of stretching and deformation on the flame front can be studied on academic configurations such as flame-vortex interactions or pulsed laminar flames, which allow to isolate and characterize the effect of a well controlled flow perturbation on the flame front. Finally, three-dimensional turbulent flames can be studied numerically and experimentally to identify the flame-turbulence, spray-flame-turbulence and flame-soot-turbulence couplings.

Based on the 'flamelet' concept, several achievements in the characterization, understanding and modeling of multi-phase reactive flows are presented according to three themes:

1. Impact of the chemical description on the prediction of the turbulent flame structure;
2. Extension of the modelling concepts for purely gaseous combustion to spray flames;
3. Characterisation and modelling of turbulence effects on soot production in terms of global quantities as well as particles population characteristics.

The developed expertise on kinetics, on spray flames and on sooting turbulent flames allows today the study of nano-particles synthesis in spray flames, which represents a promising alternative for large-scale nano-particles production at low cost. Prospective experimental and numerical works on the flame synthesis of TiO<sub>2</sub> nano-particles are finally presented.