

**Titre en français :** Modélisation de la propagation de flammes de diffusion le long d'échantillons cylindriques en microgravité.

**Titre en anglais :** Modelling flame spread over cylindrical samples in microgravity.

**Nom du directeur de thèse (et de l'encadrant principal):** Jean-Louis CONSALVI (et Guillaume LEGROS)

**Tel :** (+33) 607450434

**E-Mail :** [jean-louis.consalvi@univ-amu.fr](mailto:jean-louis.consalvi@univ-amu.fr); [guillaume.legros@upmc.fr](mailto:guillaume.legros@upmc.fr)

**Laboratoire :** IUSTI UMR 7343

**Financement :** demandé

**Type de financement :** MRE

**Résumé en français :**

Le contexte de ce projet de recherche est la sécurité incendie dans les véhicules spatiaux habités. La configuration étudiée est une flamme se propageant sur un fil électrique isolé dans un écoulement d'oxydant opposé. Cette configuration est particulièrement intéressante dans la mesure où la surchauffe de fils électriques par des surtensions a été identifiée comme étant la principale cause d'initiation d'un incendie et de sa croissance dans les véhicules spatiaux. Cela a motivé un grand nombre d'études expérimentales sur la propagation de la flamme en microgravité sur des fils électriques minces (diamètre  $\sim 1$  mm) constitués d'un noyau métallique recouvert d'un revêtement polymère potentiellement inflammable [1-7].

Ce projet de recherche s'inscrit dans une collaboration entre Aix-Marseille Université (AMU) et Sorbonne Université (SU). La Sorbonne Université a mis au point un dispositif expérimental original permettant de mesurer les caractéristiques de propagation, la structure de la flamme et la production de suie à partir de diagnostics optiques [4]. Depuis 2014, des expériences ont été menées en vol parabolique pour évaluer l'impact des paramètres ambiants (pression, concentration en oxygène dans l'oxydant, épaisseur du revêtement, matériau du noyau métallique,...) sur la propagation et l'extinction de la flamme [8]. Un effort numérique a également été fait pour faciliter l'interprétation des données expérimentales. Cet outil numérique calcule la structure de la flamme et la production de suie, mais n'est pas totalement prédictif car il nécessite de donner en entrée le débit de pyrolyse et la vitesse de propagation.

L'objectif de cette recherche est d'étendre le modèle numérique afin de le rendre complètement prédictif. Cela nécessitera un effort de modélisation important sur la dégradation thermique du polyéthylène basse densité (PEBD) utilisé dans les expériences en tant que revêtement de polymère et sur le problème de transfert de masse et de chaleur conjugué à l'interface phase solide-gaz. Une diffi-

culté majeure consistera à modéliser la déformation de la phase viscoélastique à mesure que le PE se dégrade.

Au cours de son doctorat, l'étudiant passera la majeure partie de son temps dans le laboratoire IUSTI UMR CNRS 7343 de l'Université Aix-Marseille à Marseille (France), mais pourrait également être tenu de visiter l'Institut emb'Alembert UMR CNRS 7190 de la Sorbonne Université et de participer à des vols paraboliques.

**Résumé en anglais :**

The context of this research project is fire safety in manned space vehicle. The investigated configuration is a flame spreading over an insulated electrical wire in an opposed flow. This configuration is of particular interest since unexpected overheating of wires by electrical current overshoots has been identified as a primary cause of fire initiation and growth in space vehicles. This has motivated a vast amount of experimental studies considering flame spread in microgravity over thin electrical wires (diameter  $\sim 1$  mm), made of a metallic core coated by a potentially flammable polymer coating [1-7].

This research project is a part of a collaboration between Aix-Marseille Université (AMU) and Sorbonne Université (SU). An original experimental setup was developed at Sorbonne Université allowing to document spread characteristics, flame structure, and soot production based on optical diagnostics [4]. Since 2014, experiments have been conducted in parabolic flights to assess the impact of environmental parameters (pressure, oxygen concentration in the oxidizer, coating thickness, metallic core material,...) on flame spread and flame extinction [8]. A numerical effort was also made to give insights into the interpretation of the experimental data. This numerical tool computes flame structure and soot production but is not fully predictive since it requires the experimental pyrolysis rate and spread rate as input data.

The objective of this research is to extend the numerical model in order to make it fully predictive. This will require an important modeling effort on the thermal degradation of the low density polyethylene (LDPE) used in the experiments as polymer coating and on the conjugated heat and mass transfer problem at the gas-condensed phase interface. A major difficulty will be to model the deformation of the visco-elastic phase as the PE degrades.

During his/her Phd, the student will spend most of her/his time in the laboratory IUSTI UMR CNRS 7343 of Aix-Marseille University in Marseille (France) but may also be required to visit d'Alembert Institute UMR CNRS 7190 of Sorbonne Université and to participate to parabolic flights.

**Profil du candidat recherché :**

Le candidat recherché devra posséder de solides acquis en mécanique des fluides, combustion et en méthodes numériques. Durant sa thèse, il devra être capable de prendre des initiatives et faire preuve d'autonomie.

**Publications sur le sujet :**

- [1]. Greenberg PS, Sacksteder KR, Kashiwagi T (1994) The USML-1 Wire insulation Flammability Glovebox Experiment, Third International Microgravity Combustion Workshop 2, NASA Lewis Research Center, Cleveland, Ohio, 1994, 25–30.
- [2]. Kikuchi M, Fujita O, Ito K, Sato A, Sakuraya T (1998) Experimental study on flame spread over wire insulation in microgravity. *Proc. Combust. Inst.* 27: 2507-2514.
- [3]. Fujita O, Nishizawa K, Ito K (2002) Effect of low external flow on flame spread over polyethylene-insulated wire in microgravity. *Proc. Combust. Inst.* 29: 2545-2552.
- [4]. Citerne JM, Dutilleul H, Kizawa K, Nagachi M, Fujita O, Kikuchi M, Jomaas G, Rouvreau S, Torero JL, Legros G (2016) Fire safety in space – investigating flame spread interaction over wires. *Acta Astronaut.* 126: 500–509.
- [5]. Osorio AF, Mizutani K, Fernandez-Pello C, Fujita O (2015) Microgravity flammability limits of ETFE insulated wires exposed to external radiation. *Proc. Combust. Inst.* 35: 2683-2689.
- [6]. Longhua H, Yong L, Yoshioka K, Yangshu Z, Fernandez-Pello C, Ho CS, Fujita O (2017) Limiting oxygen concentration for extinction of upward spreading flames over inclined thin polyethylene-insulated NiCr electrical wires with opposed-flow under normal- and micro-gravity. *Proc. Combust. Inst.* 36: 3045-3053.
- [7]. Kong W, Liu F (2009) Numerical study of the effects of gravity on soot formation in laminar coflow methane/air diffusion flames under different air stream velocities. *Combust. Theory Model.* 13: 993–1023.
- [8]. Guibaud A, Citerne JM, Orlac'h JM, Fujita O, Consalvi JL, Torero JL, Legros G (2019) Broadband modulated absorption/emission technique to probe sooting flames: Implementation, validation, and limitations. *Proc. Combust. Inst.* 37: 3959-3966.

**Insertion professionnelle après thèse :** Cette thèse ouvre des perspectives professionnelles dans le domaine de la recherche publique et privée sur des problématiques mettant en jeu de la mécanique des fluides, de la combustion et du calcul numérique. Le candidat équilibrera également des fondamentaux sur la science des incendies qu'il pourra valoriser.