

## ED SMAER

### Sujet de thèses 2014

Laboratoire : Institut Jean le Rond d'Alembert (CNRS UMR 7190)

Etablissement de rattachement : UPMC

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : Guillaume Legros (section 62)

Codirection et section CNU ou CNRS : Didier Lucor (CNRS section 10)

Titre de la thèse : Contrôle de la propagation d'incendie en configuration spatiale: rôle des conditions ambiantes

Collaborations dans le cadre de la thèse :  
Jean-Louis Consalvi - MdC IUSTI Marseille  
Osamu Fujita - Pr Univ. Hokkaido (Japon)

Rattachement à un programme :  
**thèse cofinancée à 50% par le Centre National d'Etudes Spatiales**  
dans le cadre du projet international SAFFIRE (Spacecraft Fire Safety Demonstration)

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI

#### Résumé du sujet :

Depuis plusieurs décennies, de nombreux travaux traitant de la propagation d'incendie et de l'écoulement des fumées ont permis des avancées certaines dans le domaine de la détection et de la prévention des incendies. Pour autant, du fait des conditions très particulières régnant au sein des véhicules spatiaux, les outils déployés pour le dimensionnement à gravité terrestre des systèmes de détection se doivent d'être pour le moins validés en conditions spatiales réelles, voire -plus probablement- modifiés afin de prendre en compte la sensibilité de la détectivité des incendies au niveau de pesanteur. La pertinence des procédures de maîtrise des incendies en configuration spatiale dépend à coup sûr de ces efforts à produire.

Au cours des travaux de thèse ici proposés, la/le doctorant(e) étudiera la propagation de flamme établie en micropesanteur sur des échantillons plans de taille réduite. Les expérimentations seront essentiellement réalisées à bord de l'Airbus zéroG de la société Novespace. Un nouveau banc expérimental, financé par le CNES et actuellement développé à l'UPMC, permettra ces expériences. L'étudiant(e) s'intéressera tout particulièrement au développement d'outils de détection produisant des informations pertinentes aux systèmes de maîtrise de l'incendie. Des leviers de contrôle pourront ainsi être dégagés, notamment par le biais des conditions ambiantes. La composition chimique ambiante ainsi que la vitesse de ventilation sont en effet des paramètres de premier ordre dans la production de suie au sein de

la flamme. Or les transferts radiatifs auxquels contribuent fortement ces particules de suie pilotent la propagation de flamme en l'absence de pesanteur.

L'analyse des résultats expérimentaux sera complétée par une étude numérique. Sous la direction de Jean-Louis Consalvi, l'étudiant(e) contribuera au développement d'un code actuellement disponible à l'IUSTI. Ce code est notoirement conçu pour modéliser la production de suie et les transferts radiatifs au sein des flammes non-prémélangées. Il résout le jeu d'équation aux dérivées partielles elliptiques par une formulation faible nombre de Mach à partir d'une discrétisation par volumes finis. Le code intègre une chimie en phase gazeuse détaillée ainsi que des modèles de transport élaborés. L'équation du transfert radiatif est résolue par la méthode des volumes finis couplée à un modèle complexe de propriétés radiatives. Un modèle réduit englobant les transferts radiatifs et la production de suie et permettant la prédiction approchée en « temps réel » de la propagation de flamme sera également considéré. Cette approche nécessitera des hypothèses simplificatrices fortes engendrant un certain niveau d'incertitude quant à la fiabilité des résultats. Ce niveau d'incertitude devra être quantifié dans la mesure du possible.

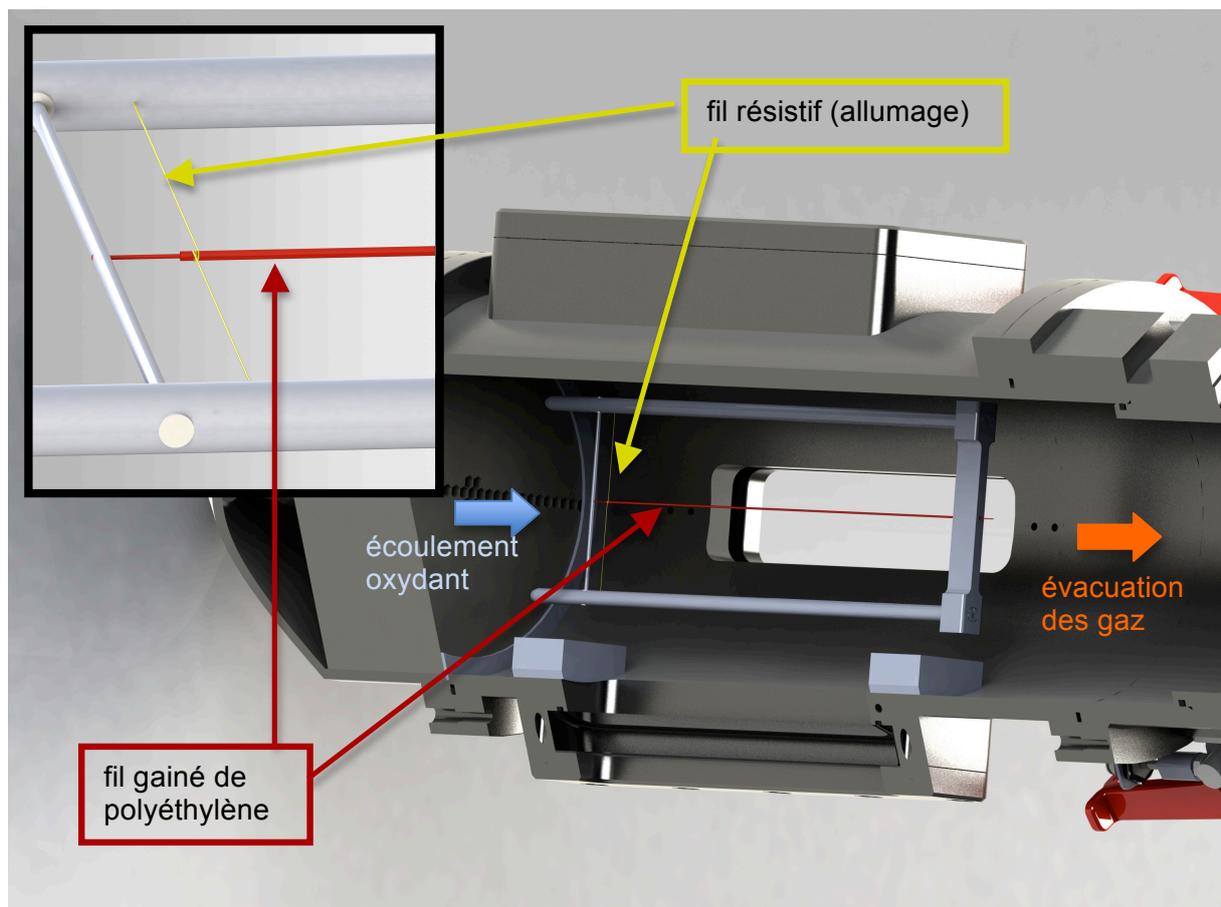
Cette thèse doit plus largement contribuer au projet international *Spacecraft Fire Safety Demonstration*, mené par la NASA, en étroite collaboration avec les partenaires européens, japonais et russes.<sup>1</sup> Dans le cadre de ce projet, des incendies se propageront sur des échantillons de taille réelle (~1m) pendant une échelle de temps réaliste (~20 minutes), ce au sein de trois véhicules Cygnus de ravitaillement de l'ISS. Ces expériences extraordinaires sont une première mondiale en la matière et représentent un pas substantiel pour le développement des technologies devant permettre le voyage vers Mars.

---

<sup>1</sup> composition de l'équipe internationale: <http://www.spacefiresafety.byg.dtu.dk/People.aspx>

**Sujet développé** (à présenter en 2 ou 3 pages maximum,  
en précisant notamment le contexte, les objectifs, les résultats attendus)

Au cours des travaux de thèse ici proposés, la/le doctorant(e) étudiera la propagation de flamme établie en micropesanteur sur des échantillons de taille réduite, de configurations plane et cylindrique. Les expérimentations seront essentiellement réalisées à bord de l'Airbus zéroG de la société Novespace. Un nouveau banc expérimental, financé par le Centre National d'Etudes Spatiales et actuellement développé à l'UPMC,<sup>2</sup> permettra ces expériences. La figure 1 propose un schéma de la chambre de combustion de ce banc. Elle permet de confiner la propagation de flamme, ici établie sur la gaine de polyéthylène recouvrant un fil électrique (configuration de révolution cylindrique). En collaboration avec le professeur Fujita (Univ. Hokkaido - Japon), les travaux chercheront à expliquer l'influence de la gravité sur la limite de concentration en dioxygène menant à l'extinction de flamme [1].



**Figure 1:** vue en coupe de la chambre de combustion, au sein de laquelle la gaine de polyéthylène d'un fil est enflammée. La propagation de flamme est alors alimentée par l'écoulement oxydant parallèle au fil. Le porte-échantillon permet d'intégrer un jeu de plusieurs fils parallèles entre eux.

<sup>2</sup> Ce banc volera pour la première fois lors de la campagne de vols paraboliques CNES d'Octobre 2014. Pour suivre le développement du nouveau banc:

[http://www.dalembert.upmc.fr/home/legros/index.php?option=com\\_content&task=view&id=6&Itemid=1](http://www.dalembert.upmc.fr/home/legros/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=1)

L'étudiant(e) s'intéressera tout particulièrement au développement d'outils de détection produisant des informations pertinentes aux systèmes de maîtrise de l'incendie, telle la détection par techniques optiques des particules de suie [2]. Des leviers de contrôle pourront ainsi être dégagés, notamment par le biais des conditions ambiantes. La composition chimique ambiante ainsi que la vitesse de ventilation sont en effet des paramètres de premier ordre dans la production de suie au sein de la flamme [3]. Or les transferts radiatifs auxquels contribuent fortement ces particules de suie pilotent la propagation de flamme en l'absence de pesanteur [4,5].

L'analyse des résultats expérimentaux sera complétée par une étude numérique. Sous la direction de Jean-Louis Consalvi, l'étudiant(e) contribuera au développement d'un code actuellement disponible à l'IUSTI [6]. Ce code est notoirement conçu pour modéliser la production de suie et les transferts radiatifs au sein des flammes non-prémélangées [7]. Il résout le jeu d'équation aux dérivées partielles elliptiques par une formulation faible nombre de Mach à partir d'une discrétisation par volumes finis. Le code intègre une chimie en phase gazeuse détaillée ainsi que des modèles de transport élaborés. L'équation du transfert radiatif est résolue par la méthode des volumes finis couplée à un modèle complexe de propriétés radiatives.

Enfin, les modèles assurant la réponse à la propagation de flamme -par le biais des conditions ambiantes notamment- doivent pouvoir tourner en temps réel. Les incertitudes liées aux simplifications nécessaires à cette contrainte se doivent d'être contrôlées [8]. C'est pourquoi les travaux de thèse intégreront une étroite collaboration avec Didier Lucor, Chargé de Recherche à l'Institut Jean le Rond d'Alembert et spécialiste reconnu de la propagation des incertitudes. Cette collaboration doit apporter l'envergure multidisciplinaire nécessaire au succès du projet.

## Références

- [1] O. Fujita, T. Kyono, Y. Kido, H. Ito, Y. Nakamura. Ignition of Electrical Cable Insulation with Short-term Excess Electric Current in Microgravity. *Proc. Combust. Institut.*, 33:2617-2623, 2011.
- [2] G. Legros, A. Fuentes, J. Baillargeat, P. Joulain, J.P. Vantelon, and J.L. Torero. Three-dimensional recomposition of the absorption field inside a non-buoyant sooting diffusion flame. *Optics Letters*, 30:3311–3313, 2005.
- [3] G. Legros, P. Joulain, J.P. Vantelon, D. Bertheau, A. Fuentes, and J.L. Torero. Soot volume fraction measurements in a three-dimensional laminar diffusion flame established in microgravity. *Combust. Sci. Technol.*, 178:813–835, 2006.
- [4] G. Legros, A. Fuentes, S. Rouvreau, P. Joulain, B. Porterie, and J.L. Torero. Transport mechanisms controlling soot production inside a non-buoyant laminar diffusion flame. *Proc. Combust. Institut.*, 32:2461–2470, 2009.
- [5] G. Legros and J.L. Torero. Phenomenological model of soot production inside a non-buoyant laminar diffusion flame. To appear in *Proc. Combust. Institut.* 35, 2014.
- [6] R. Demarco, F. Nmira, J.L. Consalvi, Influence of Thermal Radiation on Soot Production in Laminar Axisymmetric Diffusion Flames. *J. Spectrosc. Radiat. Transf.*, 120:52-69, 2013.

- [7] A. Fuentes, R. Henriquez, F. Nmira, F. Liu, J.L. Consalvi, Experimental and numerical study of the effects of the oxygen index on the radiation characteristics of laminar coflow diffusion flames. *Comb. Flame*, 160:786-795, 2013.
- [8] D. Lucor, C. Enaux, H. Jourden, P. Sagaut, Stochastic design optimization: Application to reacting flows. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg*, 196:5047-5062, 2007.