

Stage de Master EFEMO 2019-2020, durée 5 mois

Sujet : Injection de fluides supercritiques – approche expérimentale

Encadrant(s) : G. Ribert, J.-B. Blaisot, B. Barviau

Mots clés (4) : injection, atomisation, supercritique, diagnostics optiques.

Objectifs :

La notion de mélange est un paramètre fondamental dans lors de la conception des moteurs fusées (ou plus généralement les systèmes énergétiques à haute pression) car elle détermine l'efficacité et la stabilité de la combustion ainsi que les niveaux de flux de chaleur à la paroi. Dans le moteur Vulcain 2 de la fusée Ariane 5 ce processus est aujourd'hui réalisé par le biais d'injecteurs coaxiaux qui sont capables d'opérer efficacement pour différentes conditions de fonctionnement : à l'allumage ou en régime de poussée. A l'allumage l'injection s'opère en régime sous-critique puis, du fait de l'augmentation de pression globale dans la chambre et dans les lignes d'alimentation, l'injection se fait en régime supercritique. En effet, le régime thermodynamique supercritique est observé lorsque la pression dépasse une valeur critique pour le fluide considéré. Par exemple, la pression critique de l'oxygène de l'ordre de 5 MPa est bien inférieure à la pression rencontrée dans les chambres de combustion des moteurs fusées (10 MPa). L'oxygène est alors vu comme un liquide comprimé qui va s'échauffer en s'approchant de la zone de combustion, et l'on parle d'injection transcritique.

Les données expérimentales pour ce type de régime d'injection restent peu nombreuses et/ou mal documentées. L'ANR REFINE (<http://www.coria-cfd.fr/index.php/REFINE>), achevée en 2018, avait pour objectif de palier ce déficit de connaissance par l'étude expérimentale et numérique de l'injection en régimes sub, trans et supercritique d'un jet d'éthane non assisté dans de l'hélium à pression et température variables. L'ensemble de ces résultats est disponible dans la thèse de N. Vallée soutenue au CORIA en 2018. Au cours du projet REFINE il s'est avéré que la mise en place de diagnostics à haute pression était un challenge qui nécessitait de plus amples investigations.

Le stage proposé ici est préparatoire à l'ANR INSIDE (2020-2024) qui est la continuation de l'ANR REFINE. L'objectif est de réaliser une série de mesures quantitatives (densité, vitesse) d'un jet supercritique. Un injecteur de type coaxial est ici envisagé et d'autres diagnostics optiques que ceux mis en place dans REFINE seront mis en jeu. Dans le cadre du stage de Master, l'étudiant devra prendre en main une installation existante pour l'injection d'un fluide sous pression et étudier les premiers effets de l'augmentation de pression sur la déstabilisation du jet créé. *Ce sujet de Master est préparatoire à une thèse dans le cadre de l'ANR INSIDE.*

Le déroulé du stage serait donc le suivant :

- 1/ Découverte du moyen d'essai REFINE (chambre haute pression) : mise en place des fluides de travail (azote et ethane/propane) ;
- 2/ Etude de l'injection liquide à pression atmosphérique ;
- 3/ Réalisation de visualisation par ombroscopie ;
- 4/ Mise en pression du banc REFINE ;
- 5/ Campagne d'essais en pression ; étude du comportement du jet.
- 6/ Rédaction du rapport de stage.

Résultats attendus pour la rédaction du rapport de stage :

- Bibliographie des jets sous-critiques, transcritiques et supercritiques ;
- Bibliographie sur les méthodes de diagnostic dans un milieu à haute pression ;
- Réalisation de différentes expériences à basse et haute pression afin de caractériser l'atomisation d'un jet non-assisté.

Moyens utilisés :

Banc REFINE.

Travaux Développés sur le sujet au laboratoire (Master, Thèse, ...)

Vallée, N. (Thèse de Doctorat INSA de Rouen, 2014-2018) Caractérisation des jets à hautes-pressions : étude expérimentale d'injections continues sub-, trans- et super-critiques.

Références bibliographiques de l'équipe en rapport avec le sujet :

[Blaisot-2004] Blaisot J.B., Yon J., Entropy based image analysis for the near field of direct injection Diesel jet, ILASS-04, Nottingham (UK), Sept. 2004

[Petit-2013] Petit X., Ribert G., Domingo P. and Lartigue, G., Large-eddy simulation of supercritical fluid injection, *J. Supercritical. Fluids*, **(84)**: 61-73 (2013).

[Vallée-18] N. Vallée, G. Ribert, J.-B. Blaisot, Characterization of ethane jet from sub-critical to super-critical conditions through visible light and X-ray imaging. 14th ICLASS, Chicago (USA), 2018.

[Vallée-17] N. Vallée, G. Ribert, J.-B. Blaisot, D. Lisiecki, Experimental investigation of Ethane and Propane injection under sub- and super-critical conditions. 28th Conference ILASS–Europe, Valencia (Spain), 2017.

Références bibliographiques :

[Chehroudi-2002b] Chehroudi B., Cohn R. and Talley D., Cryogenic shear layers: experiments and phenomenological modeling of the initial growth rate under subcritical and supercritical conditions, *Int. J. of Heat Fluid Flow*, **23**: 554 (2002).

[Dumouchel-2008] Dumouchel C., On the experimental investigation on primary atomization of liquid streams, *Exp. Fluids*, **45**: 371-422 (2008).

[Dumouchel-2009] Dumouchel C. and Grout S., Application of the Scale Entropy Diffusion Model to Describe a Liquid Atomization Process, *Int. Journal of Multiphase Flow*, **35**, 952-962 (2009).

[Grout-2007] Grout S., Dumouchel C., Cousin J. and Nuglisch H., Fractal analysis of atomizing liquid flows, *Int. J. Multi. Flow*, **33**: 1023-1044 (2007).

[Mayer-1998] Mayer W., Schik A., Vielle B., Chauveau C., Gokalp I., Talley D. and Woodward R., Atomization and breakup of cryogenic propellants under high-pressure subcritical and supercritical conditions, *J. of Propul. Power*, **14(5)**: 835-842 (1998).

[Mayer-2003] Mayer W., Telaar J., Branam R., Schneider G. and Hussong J., Raman measurements of cryogenic injection at supercritical pressure, *Heat Mass Trans.*, **39**: 709-719 (2003).

[Oschwald-1999] Oswald M. and Schik A., Supercritical nitrogen free jet investigated by spontaneous raman scattering, *Exp. Fluids*, **27**: 497-506 (1999).

[Segal-2008] Segal C. and Polikhov S., Subcritical to supercritical mixing, *Phys. Fluids*, **20**, 052101 (2008).

[Star-2006] Star A., Edwards J., Lin K.-C., Cox-Stouffer S. and Jackson T., Numerical simulation of injection of supercritical ethylene into nitrogen, *J. Propul. Power*, **22(4)**: 809-819 (2006).

[Yang-2000] Yang V., Modeling of supercritical vaporization, mixing and combustion processes in liquid-fueled propulsion systems, *Proc. Combust. Inst.*, **28**: 925-942 (2000).

[Yon-2003] Yon J., Blaisot J.B., Morphological analysis of the diesel jet at the nozzle outlet, ICLASS-2003, Sorrento (Italy), Jul. 2003.