

Sujet de thèse en mécanique des fluides et combustion numériques

Modélisation de l'injection liquide et transcritique à haute pression de combustibles durables d'aviation

Laboratoire EM2C, CNRS, CentraleSupélec

Début : octobre 2025

Contexte

Les carburants d'aviation durables (SAF), qui englobent les carburants synthétisés à partir de biomasse (biocarburants) ou de sources électriques à zéro carbone (e-fuel), offrent une solution à court terme pour décarboner le secteur aéronautique. Présentant des propriétés principales similaires à celles du kérosène conventionnel, l'utilisation de SAF ne nécessite pas de repenser complètement les chambres de combustion actuelles. Cependant, étant donné la diversité des matières premières nécessaires pour répondre aux demandes énergétiques, les compositions de SAF peuvent varier considérablement, modifiant ainsi les propriétés thermodynamiques du mélange. Ces dernières peuvent avoir un impact important sur la dynamique de l'écoulement.

En effet, l'évolution du jet liquide formé durant l'injection dépend fortement des conditions d'injection et du mélange local. Lorsque la pression et la température sont suffisamment basses par rapport aux conditions critiques, les interfaces peuvent être modélisées comme des discontinuités entre les phases. L'équilibre entre les forces d'inertie et la tension superficielle contrôle la formation de gouttelettes pendant le processus d'atomisation (fig. 1a). Au fur et à mesure que la pression augmente jusqu'à des conditions supercritiques, la tension superficielle disparaît et l'interface nette entre les phases n'est plus présente. Le jet évolue en présence d'une interface diffuse entre le fluide dense et les gaz environnants (fig. 1b). Dans de telles conditions, le régime d'injection de fluide est souvent appelé transcritique et le mélange du jet est contrôlé par la turbulence et est analogue à celui d'un jet à masse volumique variable.

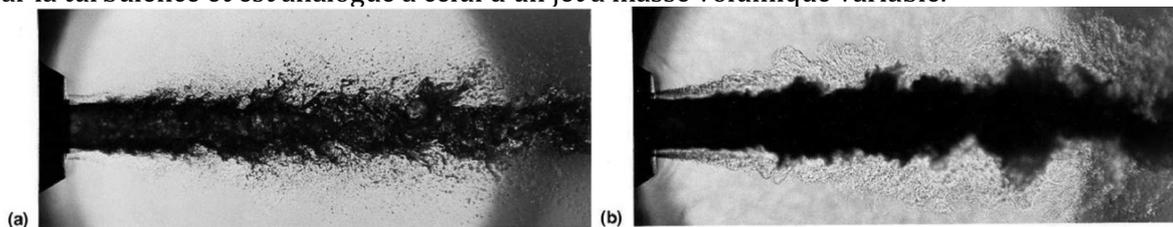


Figure 1 : Injection coaxiale d'azote liquide et d'hélium gazeux à (a) 10 bar et (b) 60 bar [1].

Ces deux régimes peuvent être rencontrés dans la chambre de combustion des moteurs aéronautiques en fonction des conditions thermodynamiques et de mélange multi-espèce locales. Un modèle physique pouvant considérer l'ensemble des états thermodynamiques possibles est alors nécessaire.

Objectif

L'objectif principal de cette thèse est de contribuer à la modélisation de l'injection liquide et transcritique (thermodynamique, atomisation/mélange, interaction avec la turbulence, atomisation secondaire, évaporation, etc.) des carburants d'aviation durables pour les moteurs aéronautiques. Ce travail poursuivra les recherches réalisées ces dernières années au laboratoire EM2C en modélisation diphasique / transcritique (Fig. 2) [3,4].

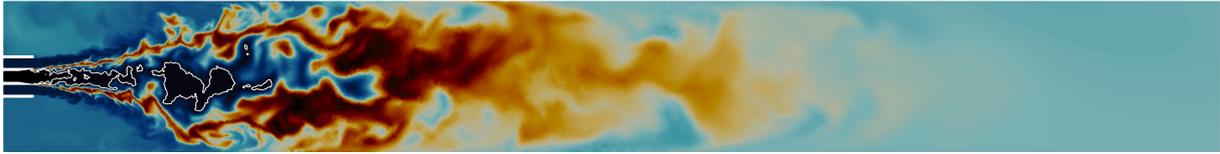


Figure 2 : Champ de température (bleu : 80 K ; rouge : 3400 K) d'une simulation 3D d'un jet coaxial cryotechnique LOx/H2 à 10 bar utilisant un modèle à interface diffuse sous équilibre homogène [4]. L'iso-contour blanc représente la région de coexistence liquide / vapeur où le mélange est thermodynamiquement instable.

Équipe d'encadrement

Le travail sera encadré par :

- Thomas Schmitt, Chargé de Recherche CNRS (thomas.schmitt@centralesupelec.fr)
- Said Taieb (said.taieb@safrangroup.com), Ingénieur de Recherche chez Safran.

Financement

Ces travaux sont financés via une bourse CIFRE de SafranTech.

Références

- [1] W.O.H. Mayer and R. Branau. Atomization characteristics on the surface of a round liquid jet. *Experiments in Fluids*, 36:528–539, 2004.
- [2] R. Dahms and J. Oefelein. On the transition between two-phase and single-phase interface dynamics in multicomponent fluids at supercritical pressures. *Physics of Fluids* 25(9), 2013.
- [3] M. Pelletier, T. Schmitt, S. Ducruix. A multifluid Taylor-Galerkin methodology for the simulation of compressible multicomponent separate two-phase flows from subcritical to supercritical states. *Computers and Fluids* (206), 2020. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03049812v1>)
- [4] T. Schmitt, S. Ducruix. Evaluation of Large-Eddy Simulation Coupled with A Homogeneous Equilibrium Model for the Prediction of Coaxial Cryogenic Flames under Subcritical Conditions. *Aerospace*. 10(2): 98, 2023 (<https://hal.science/hal-04170314>)