

*Sujet de stage de fin d'études en mécanique des fluides et combustion numériques*

## **Modélisation de l'injection liquide et transcritique pour la propulsion aéronautique et spatiale**

Laboratoire EM2C, CNRS, CentraleSupélec

Durée : 6 mois, début : avril 2025.

### **Contexte**

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.

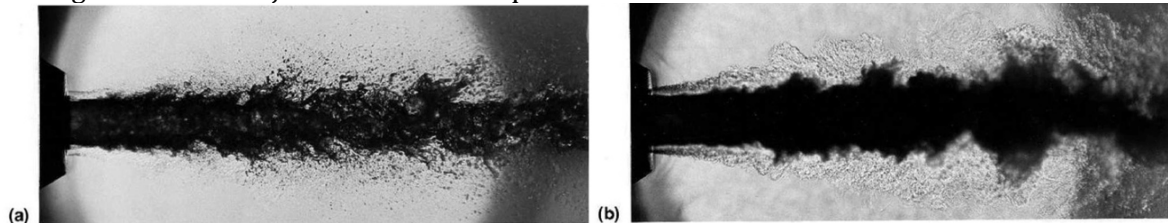


Figure 1 : Injection coaxiale d'azote liquide et d'hélium gazeux à (a) 10 bar et (b) 60 bar [1].

Ces différents régimes d'injection se retrouvent par exemple dans les moteurs-fusées à ergols liquides ou les moteurs aéronautiques en fonction des conditions thermodynamiques locales. Pour ces derniers, le développement des carburants d'aviation durables (SAF), qui englobent les carburants synthétisés à partir de biomasse (biocarburants) ou de sources électriques à zéro carbone (e-fuel), amène de nouveaux questionnements. Étant donné la diversité des matières premières nécessaires pour répondre aux demandes énergétiques, les compositions de SAF peuvent en effet varier considérablement, modifiant les propriétés thermodynamiques du mélange. Un modèle physique multi-espèce pouvant considérer l'ensemble des états thermodynamiques possibles est alors nécessaire. De plus, au défi de la modélisation thermodynamique vient s'ajouter la difficulté de la représentation de chacun des régimes d'écoulement, i.e. diphasique et transcritique. La modélisation de l'atomisation, de l'évaporation ou de la combustion nécessite par exemple encore des travaux de recherche, notamment dans ce contexte de fluides multi-espèce et non-idéaux.

### **Objectif**

Ce travail s'inscrit dans le cadre de recherches réalisées ces dernières années au laboratoire EM2C en modélisation diphasique / transcritique (Fig. 2) [3,4]. L'objectif principal de ce stage est de contribuer à la modélisation de l'atomisation du jet liquide. Il s'agit d'intégrer dans un code de calcul de recherche des modèles dédiés à la phase dispersée [5] et de modéliser leur couplage avec la phase séparée. Les travaux pourront être poursuivis en doctorat via un financement CIFRE avec SafranTech portant sur la modélisation de l'injection et la combustion des carburants d'aviation durables (SAF).

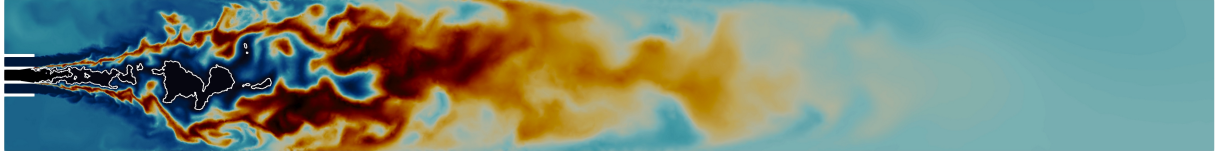


Figure 2 : Champ de température (bleu : 80 K ; rouge : 3400 K) d'une simulation 3D d'un jet coaxial cryotechnique LOx/H2 à 10 bar utilisant un modèle à interface diffuse sous équilibre homogène [4]. L'iso-contour blanc représente la région de coexistence liquide / vapeur où le mélange est thermodynamiquement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

## Équipe d'encadrement

Le travail sera encadré par :

- Thomas Schmitt, Chargé de Recherche CNRS ([thomas.schmitt@centralesupelec.fr](mailto:thomas.schmitt@centralesupelec.fr))
- Aymeric Vié, Professeur à CentraleSupélec ([aymeric.vie@centralesupelec.fr](mailto:aymeric.vie@centralesupelec.fr))

## Financement

Ce stage est financé par l'Institut d'Aéronautique et d'Astronautique de l'Université Paris Saclay.

## Références

- [1] W.O.H. Mayer and R. Branam. *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>)
- [5] R. Fox, F. Laurent, A. Vié. A hyperbolic two-fluid model for compressible flows with arbitrary material-density ratios. *Journal of Fluid Mechanics*. 903, 2020