

Modélisation de l'atomisation primaire d'oxygène liquide dans les flammes diphasiques des moteurs-fusées à ergols liquides

Florian Granger^{1,2}, Jean-Luc Estivalèzes¹, Luc-Henry Dorey¹, Davide Zuzio¹, Marie Theron²
¹ ONERA, ² CNES

Contexte



Vue d'artiste d'Ariane 6 (ESA - D.Ducros)

Comprendre les instabilités de combustion

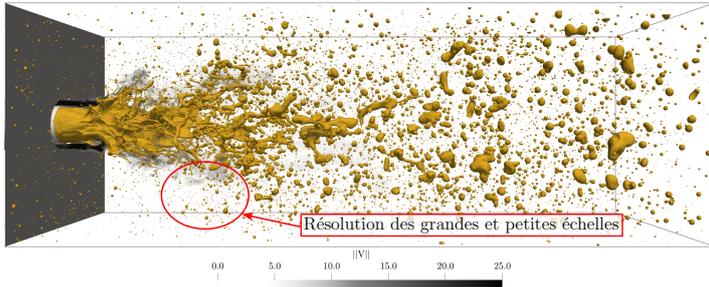
- Les instabilités de combustion peuvent entraîner la **perte du lanceur**
- Elles doivent être **maîtrisées** lors du développement d'un moteur fusée liquide
- Les phénomènes qui influencent ces instabilités doivent être identifiés et caractérisés
- **L'atomisation primaire pilote la combustion** de jets diphasiques

Pourquoi caractériser l'atomisation primaire ?

- **Ordre 1** dans la cascade injection/combustion et dans la boucle d'amplification des instabilités de combustion
- Comprendre l'**allumage d'un moteur** ou le fonctionnement stabilisé de moteur à **poussée réduite** (ex. PROMETHEUS)
- **Expérimentation difficile** et peu de configurations étudiées
- Modéliser puis valider cette modélisation et ainsi **obtenir une simulation numérique fiable**

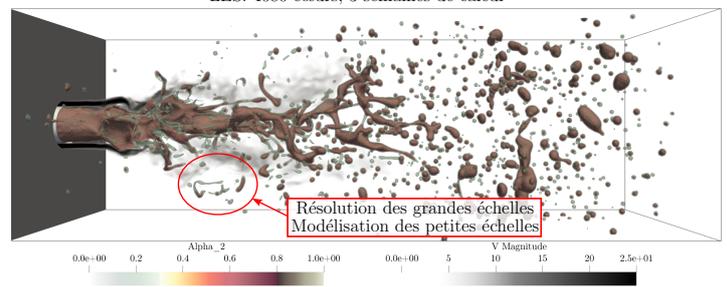
Time: 0.072857

DNS: 86400 cœurs, 3 mois de calcul



Time: 0.137523

LES: 4080 cœurs, 3 semaines de calcul



Simulation DNS DyJeat (gauche) par J.C. Hoarau et LES CEDRE (droite) de l'atomisation en régime fibre rencontré dans les moteurs fusée

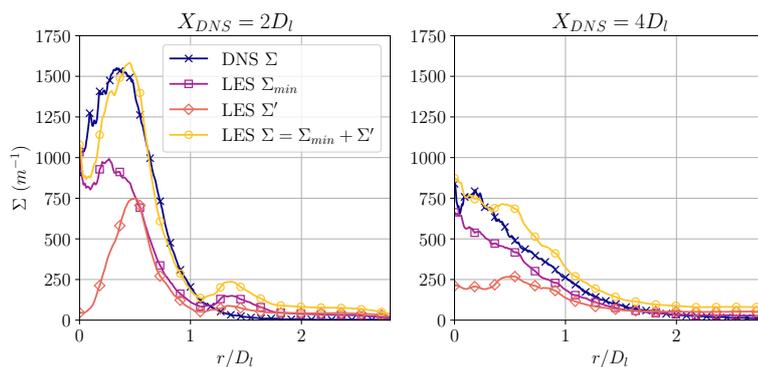
Proposition de modélisation

Cas de référence:

- Simulation DNS réalisée avec le code DyJeat au cours d'un post-doctorat par J.C. Hoarau [1]
- Maillage de 3 milliards points, 40 millions d'heures CPU qui ont permis d'observer plus de **6 millions de gouttes**

Densité d'aire interfaciale:

- Σ représente la **quantité d'interface dans une maille** ($\Sigma_{DNS} > \Sigma_{LES}$)
- Quantité proportionnelle à une **taille de goutte** $D_{32} = \frac{6\alpha_l}{\Sigma}$
- **LES plus réaliste** pour une application industrielle \Rightarrow nécessite **modélisation de sous maille** (figure ci-dessous)
- Σ_{min} quantité minimale d'interface résolue et Σ' l'interface de sous maille modélisée à partir d'une équation de transport

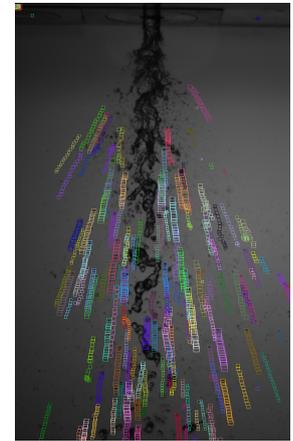


\Rightarrow **Premier modèle** de densité d'aire interfaciale pour l'atomisation assistée [2]

Validation de la modélisation

Moyens de comparaison:

- Peu de mesures de **référence** quantitatives



Tracking gouttes par analyse d'image, banc MARACA du Coria [3]

Analyse d'images:

- **Détection** des gouttes
- **Suivi** des gouttes au cours du temps
- **Mesures quantitatives** comparables aux simulations (taille, vitesse)

Conclusion et perspectives

Apporter une description des **flammes diphasiques cryogéniques** fidèle à la réalité en enrichissant le modèle d'atomisation primaire.

- Contribution à la caractérisation de l'interface entre le liquide et le gaz par une **équation de transport de la densité d'aire interfaciale**
- Etude approfondie des **structures liquides** de l'écoulement en LES et comparaison à la DNS
- Nouvelle modélisation de l'**atomisation primaire dynamique** rendant les propriétés des gouttes créées dépendantes des conditions locales de l'écoulement
- **Comparaison** de la nouvelle modélisation et **validation** par analyse d'image

RÉFÉRENCES

- [1] J.C. Hoarau, F. Granger, L. H. Dorey, D. Zuzio, and J.L. Estivalèzes. DNS of a coaxial atomization in fiber regime. *International Journal of Multiphase Flow* (en cours de soumission).
- [2] F. Granger, J.C. Hoarau, D. Zuzio, L.H. Dorey, and J.L. Estivalèzes. Large-Eddy Simulation interface surface density model for assisted atomization in fiber regime. *International Journal of Multiphase Flow* (en cours de soumission).
- [3] A. Ficuciello, J. B. Blaisot, C. Richard, and F. Baillot. Investigation of air-assisted sprays submitted to high frequency transverse acoustic fields: Droplet clustering. *Physics of Fluids*, 29(6):1-17, 2017.