

Avis de soutenance

Monsieur Nicolas GASNIER

soutiendra publiquement ses travaux de thèse, intitulés* :

Modelling and simulations of wall film flows for aeronautical combustion chambers.

Modélisation et simulations d'écoulements de films pariétaux pour les chambres de combustion aéronautiques.

le **mercredi 8 juillet 2026** à 10h00 au **Théâtre Rousseau**,
à CentraleSupélec, bâtiment Bouygues
3 rue Joliot Curie, 91190 Gif-sur-Yvette

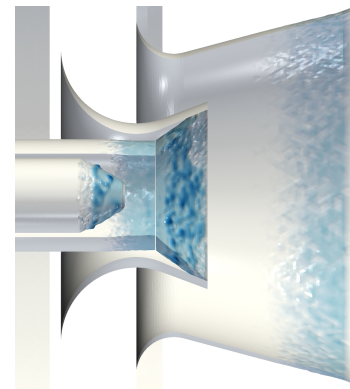
Thèse dirigée par **Aymeric VIE**, co-dirigée par **Sébastien DUCRUIX**
et co-encadrée par **Julien LEPAROUX** et **Laurent ZIMMER**
menée au laboratoire EM2C (CentraleSupélec, CNRS, Université Paris-Saclay)
et à Safran Tech (rue des jeunes bois, Châteaufort, Magny les Hameaux)

Une retransmission via Teams sera également disponible via le lien [suivant](#)

Formation de ruisselets lors de la propagation
d'un film liquide sur un cylindre



Accumulation de film liquide par impact de gouttes sur
les parois de l'injecteur BIMER



Composition du jury

Christian RUYER-QUIL Professeur, Univ. Savoie Mont Blanc

Stéphane POPINET Directeur de recherche, Sorbonne

Claire LAURENT Chargée de recherche, ONERA

Georg DIETZE Chargé de recherche, Univ. Paris Saclay

Christian TENAUD Directeur de recherche, CNRS

Rapporteur & Examineur

Rapporteur & Examineur

Examinatrice

Examineur

Examineur

Titre : Modélisation et simulations d'écoulements de films pariétaux pour les chambres de combustion aéronautiques.

Mots clés : Film liquide; Saint Venant; Interactions Spray-Film; Injection de carburant

Résumé : Ce travail s'intéresse à l'élaboration d'un modèle numérique décrivant les écoulements de films pariétaux dans les chambres de combustion aéronautiques, comprenant la formation de film par impact de gouttes, l'étalement, puis la réatomisation du film en extrémité de géométrie.

La première partie est consacrée à la comparaison de modèles de dynamique de film basés sur une approche "shallow water". Plusieurs méthodes de fermeture (dont une basée sur une expansion asymptotique du champ de vitesse, et une reposant sur l'ajout d'une variable d'entrophie aux équations) sont comparées sur plusieurs cas académiques de référence monodimensionnels. Ces simulations mettent en évidence la capacité des modèles considérés à reproduire qualitativement et/ou quantitativement la dynamique d'écoulements instables et de gouttes en translation sur des parois sèches.

Ensuite, le modèle shallow water basé sur une expansion asymptotique du champ de vitesse est étendu aux surfaces 1D non planes, qui requièrent l'emploi de modèles en coordonnées locales. Les équations de Navier Stokes sont alors mises à l'échelle suivant le paramètre $\varepsilon\theta_R$ qui exprime le ratio entre l'épaisseur du film et le rayon de courbure de la paroi. Trois modèles de film, correspondant à différents ordres de grandeur du paramètre $\varepsilon\theta_R$ et différents niveaux de simplification géométrique, sont élaborés et comparés sur des géométries analytiques. Les cas de comparaison incluent notamment l'analyse de la propagation de chocs le long de surfaces circulaires et de films liquide à l'équilibre sur des surfaces ondulées.

Les simulations montrent que le modèle faisant l'hypothèse $\varepsilon\theta_R = O(\varepsilon)$ offre le meilleur compromis entre précision et simplicité pour les ordres de grandeur considérés. Celui-ci est alors étendu pour étudier la dynamique de films sur des parois bidimensionnelles décrites par des repères orthogonaux locaux. Il est implémenté dans la plateforme YALES2 selon un formalisme Volume Fini centré aux faces du domaine numérique.

La montée en ordre du modèle numérique est assurée par l'implémentation d'une méthode Galerkin Discontinu. Celle-ci permet d'améliorer la précision des simulations tout en s'affranchissant de la difficulté liée aux variations spatiales des parois complexes. La cohérence du formalisme 2D avec les résultats 1D est validée via des comparaisons de simulations d'écoulements instables monodimensionnels sur plans inclinés. Ensuite, la capacité du modèle à représenter des écoulements bidimensionnels est vérifiée à travers l'analyse de la formation d'instabilités transverses et la formation de ruisselets sur parois sèches. Ces deux études montrent un accord qualitatif mais un écart quantitatif avec les résultats de référence.

Puis, le besoin de décrire avec précision les écoulements de films liquides sur des parois 2D courbes a motivé l'implémentation numérique de deux méthodes de calcul des flux interfaciaux entre cellules non coplanaires. La première méthode est adaptée aux surfaces paramétriques et offre une description précise de l'influence de la géométrie sur la dynamique du film. La seconde décrit de manière plus grossière l'influence de la géométrie, mais elle est applicable à tout type de surfaces. Ces méthodes sont comparées sur des cas de formation de ruisselets sur des parois cylindriques et de goutte tombante le long d'une paroi doublement incurvée. Les deux méthodes capturent les propriétés macroscopiques des écoulements de manière cohérente, ce qui valide leur pertinence pour leurs domaines d'application respectifs.

Enfin, des méthodes de couplage film-spray sont implémentées pour décrire la formation de film par impact de goutte ainsi que leur atomisation à l'extrémité des parois. En particulier, le modèle d'atomisation airblast PAMELA est considéré pour décrire l'arrachement de gouttelettes par un écoulement gazeux haute vitesse. Ces méthodes sont validées sur des simulations de référence, puis appliquées à la simulation de la formation et l'atomisation de films liquides au sein de l'injecteur académique BIMER.

Title : Modelling and simulations of wall film flows for aeronautical combustion chambers.

Keywords : Film flows; Shallow Water Equations; Film Spray Interactions; Fuel Injection.

Abstract: This work focuses on the design of a numerical model for parietal film flows inside combustion chambers including film formation from droplet impacts, spreading, and reatomization at wall edges.

The first part of the work is dedicated to the comparison of different shallow water models based on various closure methods over 1D reference cases. They include a model based on an asymptotic expansion of the velocity field and a model which includes an enstrophy variable in the equations. The simulations highlight the ability of the models under study to depict qualitatively and/or quantitatively the dynamics of unstable liquid flows and of sliding droplets over dry walls.

Then, the model based on an asymptotic expansion of the velocity field is extended to complex 1D surfaces which require the design of film models in local coordinates. To that end, curvilinear Navier Stokes equations are scaled based on the non-dimensional parameter $\varepsilon\theta_R$, which expresses the ratio between the film thickness and the radius of curvature of the wall. Three models, corresponding to different magnitudes of the parameter $\varepsilon\theta_R$ and different levels of geometrical simplifications, are designed and compared over analytical geometries. The test cases considered include the analysis of propagating shocks over circular surfaces as well as steady state profiles of liquid layers over corrugated walls.

It is shown that the model corresponding to $\varepsilon\theta_R = O(\varepsilon)$, offers a good trade-off between accuracy and simplicity in the range of values considered in this work. It is then extended to study the dynamics of liquid films over two-dimensional manifolds described by local orthogonal frames. It is implemented in the numerical platform YALES2 based on a face-centered Finite Volume framework.

The order of accuracy of the numerical framework is increased based on a Discontinuous Galerkin method. It allows to improve significantly the precision of the results while avoiding the complexity related to the geometrical variations of curved boundaries. The consistency of the 2D framework with 1D results is validated by studying the dynamics of one-dimensional unstable flows over inclined planes. Next, the ability of the model to depict two-dimensional film flows is assessed based on the analysis of multidimensional instabilities as well as the formation of rivulets over dry walls. These studies show a qualitative agreement but quantitative differences with reference results.

Furthermore, the need for an accurate description of film flows over 2D curved walls motivated the numerical implementation of two methods aiming at computing interfacial fluxes between non coplanar cells. The first method is adapted to parametric surfaces and provide an accurate description of the influence of geometrical features on the dynamics of the flow. The second provides a coarser description of the influence of the geometry, but it is more generic and it can be applied to any surface. These methods are compared over cases of rivulet formation over cylindrical surfaces and falling droplets over doubly curved manifolds. Both methods capture the macroscopic features of the flows consistently, which validate their relevance for their own range of application.

Finally, film spray coupling methods are implemented to perform numerical simulations of wall film formation and reatomization over sharp corners. In particular, the Airblast atomization model PAMELA is implemented to describe the shear driven atomization of liquid films. They are tested on several simple cases and applied to study film formation and atomization inside the academic injector BIMER.