

Soutenance de thèse

Elena QUERO GRANADO soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EDyF et intitulée «*Développement d'un modèle 1,5-D de chambre de combustion d'un moteur hybride pour une application système*»

Le 12 avril 2023 à 10h00, salle des thèses ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Jérôme ANTHOINE	Directeur de recherche ONERA	Directeur de thèse
M. Patrick HENDRICK	Professeur Université Libre de Bruxelles	Rapporteur
M. Jean-Yves LESTRADE	Ingénieur de recherche ONERA	Co-directeur de thèse
M. Dario PASTRONE	Professeur Politecnico di Torino	Rapporteur
M. Grégoire CASALIS	Professeur ISAE-SUPAERO	Examineur
M. Olivier ORLANDI	Ingénieur de recherche Airbus Safran Launchers	Examineur

Résumé : La propulsion spatiale hybride est devenue, ces dernières années, de plus en plus attrayante en se plaçant comme l'une des alternatives aux systèmes conventionnels de propulsion chimique pour des raisons de sécurité, de coûts et de performances. Ce type de propulsion est envisagé pour des applications orbitales (positionnement ou désorbitation de satellites), des micro-lanceurs ou encore pour le tourisme spatial. La conception optimisée de cette technologie nécessite la caractérisation du comportement du moteur et la connaissance de ses performances dans différentes configurations. Les coûts élevés dus à la réalisation de campagnes d'essais ont favorisé le développement de modèles complexes (généralement stationnaires) de la chambre de combustion dans la mécanique de fluides numérique (CFD en anglais). Ces codes couplent des modèles de combustion, de turbulence et d'injection pariétale de carburant en fournissant des données détaillées sur le champ aérothermodynamique dans la chambre de combustion. Cependant, le temps de calcul associé s'avère considérable lorsque l'on envisage leur application pour des phases d'avant-projet. De l'autre côté du spectre, les modèles simples de chambre de combustion 0-D/1-D employés dans des outils-systèmes, permettent d'obtenir une solution dans un délai plus court. Cependant, ces modèles sont basés sur des relations semi-empiriques, ce qui empêche l'application d'un modèle unique sur des configurations variées de moteurs. Les phases d'avant-projet des systèmes de propulsion nécessitent néanmoins un compromis entre la précision des résultats et le temps de calcul afin de tester efficacement un grand nombre de configurations de moteurs. L'une des solutions envisageables est l'utilisation de modèles 1.5-D. L'objectif de cette thèse est donc le développement d'un outil-système pour un moteur hybride utilisant un modèle 1.5-D de la chambre de combustion, permettant ainsi d'atteindre un compromis entre la précision et la complexité des calculs. Pour ce faire, un modèle de chambre de combustion 1.5-D instationnaire et axisymétrique (avec une formulation d'abord non-réactive de l'écoulement et réactive ensuite), et le modèle de tuyère 1-D associé, sont développés. Le taux de régression du combustible de ce modèle est basé sur la loi d'Arrhenius. De plus, le modèle d'interaction gaz-surface permet de décrire les échanges de masse et de chaleur à la surface du combustible. Ces modèles de chambre de combustion et de tuyère sont ensuite validés en utilisant à la fois la littérature et un moteur hybride de laboratoire (HYCAT). Enfin, une analyse de sensibilité a été réalisée pour compléter cette validation et quantifier l'impact des paramètres physiques intervenant dans le modèle de chambre de combustion. Parallèlement au

développement de ces deux modèles, le régulateur de débit massique et le catalyseur ont été modélisés en 0-D et ont ensuite été validés. Ces quatre modèles sont finalement utilisés pour concevoir un outil-système pour un moteur hybride permettant la simulation de toute l'opération de celui-ci en quelques minutes sur un ordinateur de bureau. Cet outil est développé de manière modulaire afin de faciliter l'ajout ou le remplacement des éléments constituant un moteur hybride. Cette architecture permet la simulation d'une grande variété de configurations de moteurs : d'un composant isolé jusqu'au système de propulsion complet. De plus, une méthode itérative basée sur la convergence de la pression dans la chambre de combustion est utilisée pour résoudre l'ensemble du système d'équations entre trois parties du moteur : le sous-système d'alimentation/injection, la chambre de combustion et la tuyère. L'ensemble de l'outil-système pour moteurs hybrides est finalement validé à l'aide des essais HYCAT.

Mots-clés : Propulsion hybride, Outil-système, Modèle 1.5-D, Chambre de combustion, Mécanique de fluides

Summary: A hybrid rocket engine combines the technological concepts of the two chemical propulsion modes (solid and bi-liquid) in order to take advantage of them. In most cases, the fuel is solid while the oxidizer is liquid. The oxidizer is injected into a pre-chamber where it vaporizes and decomposes, then enters the combustion chamber in gaseous form. It then reacts with the gases from the pyrolysis of the fuel in the form of a diffusion flame. This is a self-sustaining phenomenon since the flame allows the degradation of the fuel which then feeds the flame. This characteristic constitutes the great difference with the other modes of chemical propulsion and the complexity of operation of these engines. ONERA performs numerical simulations of these engines with the CFD CEDRE calculation chain in simplified cases that have been validated experimentally. New models concerning two-phase phenomena and fuel pyrolysis have recently been developed to perform more representative numerical simulations. However, these complete calculations are not compatible with pre-design studies requiring a large number of simulations. To this end, ONERA has the SOPHY tool for the simulation of a 'complete' hybrid rocket engine in the form of 0D modules (tank, valve, combustion chamber, nozzle), using a sequential resolution of the equations of each of the engine elements. The objective of the PhD thesis is to improve the SOPHY tool. To do so, a new system design tool implementing a simultaneous resolution of the equations of the different engine components will be developed. This tool will implement in a modular way the 0D models of the main elements of the engine as well as a more physical modeling of the combustion chamber based on an Arrhenius law in order to take into account the pyrolysis of the fuel coupled with an integral resolution of the Navier-Stokes equations of the gas flow. The development will be carried out under the constraint of keeping computational times compatible with pre-design studies. A validation of this 1.5D model of the combustion chamber will be carried out through comparisons with CEDRE calculations. Once integrated into the system design tool, the results of complete simulations of the whole engine will be compared with experimental tests on the existing hybrid engine bench (HYCAT).

Keywords: Hybrid propulsion, System design tool, 1.5-D model, Combustion chamber, Fluid Mechanics

