

## Soutenance de thèse

**Nikolay KIROV** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EDyF et intitulée «*Simulation numérique de l'écoulement air-huile dans une enceinte moteur*»

**Le 25 mars 2024 à 10h00, Auditorium ONERA Toulouse**

devant le jury composé de

M. Jean-Luc ESTIVALEZES	ONERA	Directeur de thèse
M. Stéphane VINCENT	Université Gustave Eiffel	Rapporteur
M. Pierre TRONTIN	Université Lyon 1	Rapporteur
M. Jean-Mathieu SENONER	ONERA	Co-encadrant de thèse
M. Nicolas GRENIER	Université Paris-Saclay	Examinateur
Mme Annafederica URBANO	ISAE-SUPAERO	Examinatrice

**Résumé :** La tendance actuelle vers des moteurs d'avion plus puissants et plus économes en carburant crée le besoin de roulements capables de transférer des charges mécaniques plus élevées entre les composants rotatifs et fixes de la machine, à des températures extrêmes et à des régimes moteur plus élevés. Les roulements nécessitent d'être lubrifié en permanence avec une huile spécialisée afin de réduire les frottements, de dissiper la chaleur, d'éloigner les minuscules débris et ainsi d'assurer l'intégrité mécanique du moteur. Les débits massiques d'huile qui en résultent au sein du moteur sont importants et le lubrifiant doit donc être recyclé en permanence via un système de recirculation d'huile. En conséquence, les roulements sont enfermés dans des enceintes, constitués de joints étanchetés et des roulements eux-mêmes. Les enceintes à huile sont essentiellement des chambres étanches adjacentes aux roulements, ou parfois les enfermant, dans lesquelles l'huile éjectée est canalisée après la lubrification. Ils sont généralement scellés avec de l'air sous pression du côté opposé, qui passe à travers un joint labyrinthe afin d'empêcher tout écoulement sortant. En règle générale, une ouverture d'orifice de ventilation est incluse sur le dessus pour permettre à l'air de s'échapper, et une ouverture d'orifice de récupération est située près du bas pour ramener l'huile vers les pompes de récupération d'huile vers le réservoir. À l'intérieur de l'enceinte, l'huile et l'air forment un écoulement complexe à deux phases, dans lequel les effets centrifuges, le cisaillement aérodynamique et les forces de gravité provoquent la dispersion de la majorité de l'huile dans l'enceinte huile et s'accumulent sous forme de film dans les parois extérieures. Un transfert de chaleur de ces parois vers l'huile pré-refroidie à lieu, lui conférant ainsi une fonction secondaire importante : absorber une partie de la chaleur et donc refroidir l'enceinte. Il est cependant important que l'huile des roulements soit collectée et renvoyée au réservoir avant d'atteindre des températures trop élevées, afin d'éviter la cokéfaction ou, pire encore, l'inflammation, qui pourrait déclencher un incendie dans l'enceinte. La physique complexe des écoulements diphasiques conduit à un problème d'optimisation qui ne peut être résolu que via des simulations numériques. À ce jour, une quantité considérable d'incertitude demeure quant à la pratique de modélisation informatique la plus optimale pour une simulation précise, fiable et rentable des chambres de roulements dans différentes conditions de fonctionnement. L'objectif de cette thèse est donc de tester plusieurs approches de modélisation numérique pour la simulation d'un banc d'essai simplifié de l'enceinte, ici nommé ELUBSYS, pour lequel certaines mesures expérimentales sont disponibles et peuvent être utilisées pour fournir des moyens de validation desdites approches. Il s'agit, à savoir, d'une approche

interfaciale multi-fluide à interface diffuse, d'une approche simplifiée Eulerian Integral Thin Film (EITF), d'une approche à phase dispersée Lagrangienne (Disperse Particles Model, DPM) et, enfin, d'une approche couplée EITF-DPM. Au cours de toutes ces investigations, de nouvelles connaissances ont été acquises sur les caractéristiques de l'écoulement, les paramètres d'influence et les performances globales, par rapport aux données expérimentales pour deux configurations de chambres de roulements sous une variété de débits massiques d'huile et de vitesses de rotation de l'arbre. La méthodologie couplée EITF-DPM s'est avérée obtenir une bonne précision pour les mesures de distribution d'épaisseur de film pour un coût contenu et pour une variété de régimes de fonctionnement.

**Mots-clés** : dynamique des fluides numérique, enceinte à huile, écoulement air-huile, approche couplée EITF-DPM, approche à interface diffuse, moteur d'avion

**Summary:** Aeronautical turbomachines must ensure optimal performances over the entire flight envelope of the aircraft for which they were designed. The presence of rotating and fixed parts requires the integration of bearings. These must be lubricated at all times to ensure the mechanical integrity of the engine. In addition, the lubrication circuit must allow to efficiently evacuate the heat generated by the bearings. In general, the fuel supplying the turbomachine is used as coolant. The current trend towards developing fuel-efficient aircraft turbine engines increases the cooling requirements on the lubrication systems due to higher engine speeds, loads and temperatures, as well as the integration of high power gearboxes allowing higher dilution rates. For these reasons and obvious safety concerns, no oil loss is tolerable in these systems. Manufacturers are therefore seeking to develop new lubrication system architectures capable of meeting the new cooling and lubrication requirements without negatively impacting the weight and the cost of operation and maintenance of the engines. During the past European project ELUBSYS, a simplified bearing chamber was designed and instrumented to characterize an internal air-oil flow in conditions representative of aeronautical applications. This configuration reproduces the injection of an oil ring around a high-speed rotating shaft, enclosed in a pressurized chamber by an air injection to ensure its tightness. The numerical simulation of this configuration remains a major challenge. Indeed, it requires capturing the behaviour of a liquid phase around a cylinder rotating at high speed in a closed structure. The oil can be present in several forms: liquid sheet, large liquid structures, fine droplet mist or a thin wall film. Different physical phenomena influence the two-phase flow: flow rates, air/oil viscosity ratio, liquid surface tension, accelerations induced by the shaft rotation, atomization of the oil layer, droplet-wall and droplet-film interactions. The gaseous flow also has a significant influence on the liquid, through the shearing of the oil layer, the transport of the drops and the shearing of the film. Several numerical approaches dedicated to multi-phase flows can be considered in order to model the behaviour of the oil in the bearing chamber: -> Interfacial approaches: these methods, among which one can find the Volume-of-Fluid (VoF) and the multi-fluid approaches, simulate the behaviour of the two phases, liquid and gas, by numerically explicitly resolving the interface. Few preliminary assumptions are made about the topology of the flow. However, the mesh must capture the smallest liquid structures, which is very difficult and expensive for liquid sheets, small droplets or thin films. -> Dispersed phase methods: these methods are based on the assumption that the liquid is in the form of a fine dispersion of quasi-spherical droplets and present at sufficiently low volume fractions to neglect complex droplet interaction effects. The statistical distribution function of physical drops can be approximated using a sample of numerical particles (Lagrangian approach) or described by continuous fields (Eulerian approach) representing moments of the underlying spray density function. Since the drops are supposed to be much smaller than the local mesh cell size, this approach is numerically much cheaper than the resolution with separate phases. -> Surface methods: these methods are dedicated to the resolution of thin liquid films spreading over solid surfaces. The characteristics of the film are integrated on its height, which makes it possible to solve thicknesses well below the local mesh height. The computational cost is

usually negligible when compared to a full Navier-Stokes resolution. Multi-scale methods: these methods strive to account for the large spatio-temporal variations in the characteristic size of the liquid flow. This may among other solutions be achieved via a dynamic coupling between the previously enumerated methods. The ONERA CEDRE platform allows testing all these approaches. Indeed, it contains several solvers dedicated to two-phase flows: the CHARME multi-fluid solver for interfacial flows, an Eulerian and a Lagrangian dispersed phase solver (SPIREE and SPARTE), and the FILM surface solver. These solvers can be coupled in a simulation, either in steady-state or unsteady computations. Dedicated models allow the dynamic and local transfer of liquid between these solvers. CEDRE works on general polyhedral meshes, with parallel partitioning MPI of the domain. It is therefore suitable for large and complex geometries. THESIS OBJECTIVES Using the CEDRE platform, the aim of the thesis is to evaluate different numerical approaches on the ELUBSYS configuration for the account of SAFRAN AIRCRAFT ENGINES, a world leader in aircraft engine manufacturing. Because high-fidelity interfacial simulations remain too expensive for repeated industrial use on such configurations, the feasibility of multi-scale approaches needs to be assessed in terms of computational cost and accuracy. Indeed, interfacial simulations (VoF) reported in literature appear to struggle to obtain mesh-convergent results, while under-resolution is known to yield unphysical local topologies of the liquid phase. On the other hand, dispersed-phase and surface approaches require modelling of physical effects occurring at a scale smaller than the size of the mesh. In particular, they must reproduce the interaction of the drops or the film with the wall. While these phenomena have a significant influence on simulation results, they are very complex and their modelling remains challenging. Thus, the numerical accuracy that can be achieved with these approaches remains a somewhat open question for this type of configuration.

**Keywords:** computational fluid dynamics, bearing chamber, air-oil flow, coupled EITF-DPM approach, diffuse-interface approach, aero engine

