

Invitation à la soutenance d'HDR

Contribution à la modélisation et la simulation numérique des écoulements réactifs dans les chambres de combustion aéronautiques.

Nicolas Bertier

Date : le 28/11/2025 (10h)
A l'ONERA Toulouse, Auditorium

Devant le jury composé de :

M. Marc Bellenoue (Rapporteur), Professeur, CNRS, ENSMA, Université de Poitiers
M. Pierre Boivin (Rapporteur), Chargé de recherches CNRS, M2P2
M. Benoît Fiorina (Membre du jury), Professeur, Université Paris-Saclay, CNRS, CentraleSupélec, EM2C
M. Guillaume Legros (Membre du jury) Professeur, Institut d'Alembert, Sorbonne Université
M. Vincent Moureau (Rapporteur) Chargé de Recherches CNRS, CORIA
M. Thierry Poinot (Membre du jury, Parrain) Directeur de recherche CNRS, IMFT
M. Stéphane Richard (Membre du jury) Chef du bureau d'étude combustion SHE

Résumé

Le contexte général de ces travaux est la réduction de l'empreinte environnementale du transport aérien. En effet, la combustion d'un carburéacteur d'origine fossile à base de kérosène produit des espèces chimiques gazeuses et des particules pouvant être nocives pour la santé humaine et/ou contribuer au changement climatique, selon le type et l'altitude de l'émission considérée. La chambre de combustion est l'organe du moteur dans lequel l'énergie contenue sous forme chimique dans le carburéacteur est convertie en chaleur et, par conséquent, l'endroit où ces émissions trouvent leur origine. Leur formation dépend de plusieurs paramètres pouvant être interdépendants, tels que la composition du carburéacteur, la qualité de l'atomisation, l'aérodynamique de l'écoulement ou la structure de la flamme. Quant à leur limitation, elle ne peut s'envisager qu'en prenant en compte l'ensemble des enjeux et contraintes de conception (rallumage haute altitude, stabilité, performance, profils de température en entrée de turbine...). Toute la difficulté réside dans le fait de concilier ces multiples objectifs — dont certains peuvent être antinomiques — pour l'ensemble des points de fonctionnement (taxiage, montée, décollage, croisière...) dans un dispositif dépourvu de pièces mobiles.

Le fil conducteur de ces recherches, conduites depuis la soutenance de ma thèse en 2006 avec les différents doctorants que j'ai pu co-encadrer ou co-diriger, est le souci constant de comprendre les phénomènes physiques rencontrés dans ce type d'écoulements réactifs et de les modéliser. Ces modèles sont ensuite implémentés dans des codes de calcul — en particulier le code CEDRE de l'ONERA — et mis en œuvre sur des configurations allant de simples flammes académiques jusqu'à des chambres représentatives des applications industrielles.

Plus précisément, les travaux de recherche qui seront présentés peuvent être regroupés selon cinq axes. Tout d'abord, la problématique du traitement de la dynamique pariétale dans les simulations

instationnaires d'écoulements réactifs sera brièvement abordée, avec une présentation de la mise en œuvre d'une approche de type ZDES (Zonal Detached Eddy Simulation) sur un cas de marche descendante, puis sur celui de l'injecteur aéronautique TLC, représentatif des systèmes TAPS (Twin Annular Premixing Swirler). Ensuite, des méthodes de tabulation permettant de prendre en compte à coût réduit des mécanismes réactionnels complexes seront présentées, en évoquant les aspects relatifs à la consistance des états thermodynamiques entre le code de calcul et la table, au régime de combustion étudié (prémélange, diffusion ou mixte) ou encore à la manière de traiter les disparités de temps caractéristiques de formation des différentes espèces. La thématique de la simulation numérique des suies sera alors abordée et les avancées obtenues à l'aide des approches hybrides eulériennes-lagrangiennes mises en évidence, en insistant sur la nécessité de développer des algorithmes permettant de réduire efficacement la population de particules numériques. Presque à l'opposé de cette thématique, dans laquelle la chimie organique joue un rôle important, des travaux menés ces dernières années dans le cadre du projet DGAC PHYDROGENE sur la combustion de l'hydrogène en conditions aéronautiques seront présentés (étude de la stabilisation, de la résistance à l'extinction ou encore de la propension au flashback de flammes H_2 /air élémentaires). Enfin, la dernière partie de la présentation traitera de l'optimisation d'injecteurs aéronautiques par simulation numérique, en s'appuyant sur des méthodes bayésiennes multi-objectif et multi-fidélité (la « basse fidélité » étant réalisée en RANS et la « haute-fidélité » en LES).

La présentation de la démarche adoptée et des principaux résultats obtenus sur ces cinq axes sera suivie de l'exposé de quelques perspectives de recherche puis d'une conclusion.

Mots clés

COMBUSTION ; SIMULATION NUMERIQUE ; AERONAUTIQUE ; SUIES ; HYDROGENE