

PROPOSITION DE SUJET DE THÈSE

Intitulé : Etude de l'amélioration du fonctionnement d'une chambre de combustion à détonation rotative alimentée en méthane et oxygène

Référence : **MFE-DMPE-2025-06**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : **Octobre 2025**

Date limite de candidature : **Mars 2025**

Mots clés

Détonation rotative, Chambre de combustion, Étude expérimentale, Simulation numérique

Profil et compétences recherchées

Formation : grande école d'ingénieurs et master 2 à dominante mécanique des fluides, énergétique, combustion, détonique, CFD

Qualités personnelles : autonomie, sens relationnel, maîtrise de la programmation, aptitude à l'utilisation des logiciels de CFD et aux activités expérimentales, bon niveau en anglais, qualité d'expression scientifique orale et écrite.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

L'intérêt théorique de la détonation comme mode de combustion dans un propulseur réside dans l'augmentation du rendement thermodynamique du cycle moteur. En effet, la détonation crée un gain de pression significatif par rapport à la combustion isobare des moteurs actuels. La chambre de combustion à détonation rotative (RDC) offre potentiellement une solution de rupture permettant d'augmenter les performances propulsives, sinon la compacité à performances au moins égales, et de simplifier le système lanceur (e.g. réduction taille des pompes). Ce concept, qui se présente souvent sous la forme d'une chambre annulaire (voir la Figure 1), est ainsi activement étudié dans les grands laboratoires de recherche et par différents industriels dans le monde.

Dans le cadre de ses activités en propulsion spatiale, l'ONERA a mis en place des thèses en collaboration avec l'Institut Pprime (CNRS) et le Space Propulsion Institute (DLR Lampoldshausen). L'ONERA utilise activement son propre code de recherche CEDRE pour simuler le fonctionnement de la RDC et optimiser son injecteur [1, 2]. Pprime possède une solide expérience historique en ce qui concerne la mise en œuvre de tests expérimentaux avec des maquettes de RDC sous différentes conditions de débit, pression, richesse et type d'ergols. Ces tests sont actuellement réalisés sur le banc GAP de la plateforme PROMETEE de Pprime. Le CNES considère que l'utilisation d'un moteur à détonation rotative (RDE) peut être une solution intéressante pour les nouveaux lanceurs spatiaux.

Récemment, la thèse de Pierre Hellard réalisée à l'ONERA et à Pprime a permis d'obtenir de très bons résultats numériques et expérimentaux sur le fonctionnement d'une RDC alimentée en méthane et oxygène gazeux [3]. Côté expérimental à Pprime, des modes stables de propagation d'une détonation dans la RDC ont été observés avec des vitesses de détonation proches de la vitesse théorique Chapman-Jouguet. Côté numérique à l'ONERA, une très bonne correspondance a été obtenue avec les résultats expérimentaux en termes de vitesse de propagation, de signaux de pression mesurés et de structure d'ondes observée (voir la Figure 2). Ces résultats sont dus à l'utilisation d'un injecteur optimisé numériquement, doté d'une préchambre permettant de produire un prémélange partiel entre les ergols. Cette étude a montré que la qualité du mélange est un facteur de premier ordre pour obtenir une vitesse de détonation élevée et ainsi une efficacité de compression maximale. Pprime et l'ONERA cherchent maintenant à poursuivre leurs efforts pour continuer à améliorer le fonctionnement de la RDC.

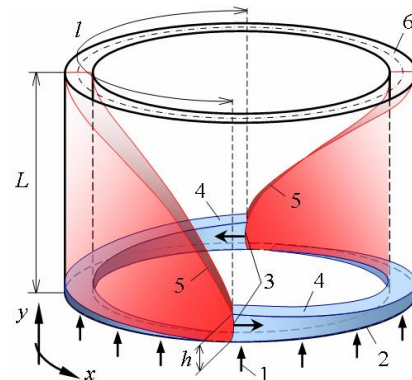


Figure 1: Fonctionnement d'une RDC :
(1) injection d'ergols, (2) paroi d'injection, (3) fronts de détonation, (4) couches de mélange frais, (5) chocs obliques dans les gaz de combustion, (6) sortie de la chambre.

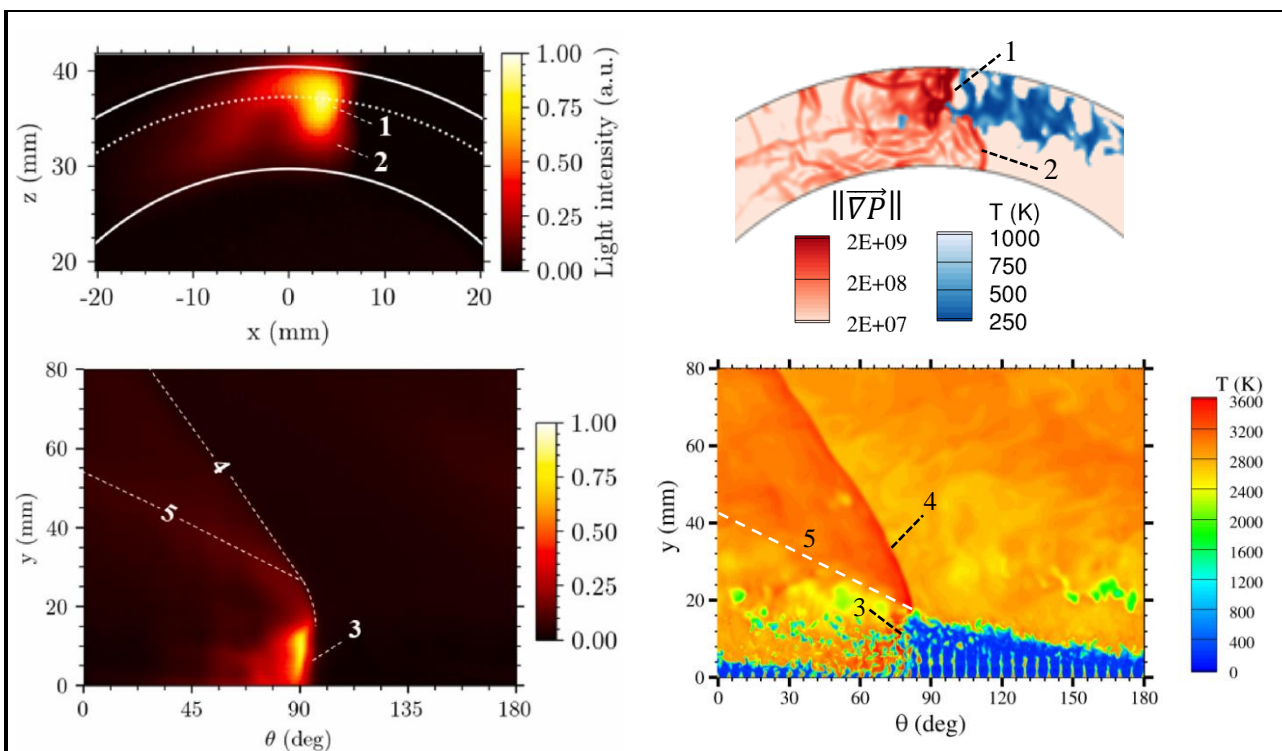


Figure 2 : Résultats expérimentaux et numériques pour la détonation rotative dans la maquette de chambre alimentée en méthane/oxygène. À gauche, visualisation de la chimiluminescence induite par la détonation rotative : vue depuis la sortie de la chambre (en haut) et vue de côté (en bas). À droite, champs instantanés de température et de gradient de pression à 12 mm du fond d'injection (en haut) et champ de température au rayon médian de l'injecteur (en bas) obtenus par simulation. Éléments numérotés : 1 et 3 - front de détonation ; 2 et 4 - chocs dans les gaz chauds induits par la détonation ; 5 - ligne de contact des gaz générés par la détonation affichée et la détonation précédente.

L'objectif de la thèse est d'étudier les effets de différents facteurs sur les performances d'une RDC et de parvenir à améliorer les caractéristiques de fonctionnement de la maquette de RDC en exploitant les approches expérimentale et numérique. Plusieurs voies sont envisagées à cet effet. Il est premièrement important de continuer à chercher les meilleures conditions de mélange d'ergols pour augmenter son homogénéité et minimiser sa dilution avec des gaz brûlés environnants, mais il est également nécessaire de limiter la consommation du mélange par déflagration parasite et les pertes de pression totale dans les jets. On envisage alors l'injection d'un prémélange à travers un matériau poreux avec des pores de taille adaptée afin d'empêcher la détonation et la flamme de remonter dans la préchambre et d'éviter les pertes de charges trop importantes. La géométrie interne de la chambre fera aussi l'objet d'une étude dont le but est de favoriser les conditions de propagation de la détonation en termes de vitesse et de stabilité. Différents profils pour la paroi externe ainsi que différentes formes du corps central seront utilisés pour identifier la meilleure géométrie. Avant l'arrivée du doctorant, un travail préparatoire est envisagé pour disposer de nouveaux éléments de la maquette de RDC.

Le doctorant pourra commencer la première partie de la thèse par l'étude expérimentale à Pprime. Il participera au montage des pièces disponibles et suivra les éventuelles fabrications de pièces supplémentaires servant à modifier la maquette de RDC. Il participera à la mise en œuvre et à l'exploitation des moyens de mesure, à la définition et la conduite des campagnes d'essais ainsi qu'à l'exploitation des résultats expérimentaux. Une activité spécifique sera dédiée à la caractérisation expérimentale des pertes de charges dans le matériau poreux. Une étude bibliographique sur les formes de RDC existantes permettra de faire des choix pertinents pour l'évolution de la géométrie de la RDC vers un meilleur fonctionnement. Différents injecteurs et formes internes de chambre pourront alors être envisagés et testés expérimentalement à titre de comparaison.

Puis, le doctorant passera la deuxième partie de la thèse à l'ONERA de Palaiseau. Ce travail commencera par la mise au point des modèles numériques, en particulier celui représentant les conditions d'injection par une couche poreuse. Selon les résultats expérimentaux de la thèse, le doctorant simulera des points de fonctionnement d'intérêt à l'aide du code CEDRE de l'ONERA. Il mettra en œuvre une procédure complète de simulation (traitement de la géométrie, génération de maillage, mise en données, calcul, post-traitement, analyse des résultats). Une fois validés par rapport à l'expérience, les résultats numériques doivent permettre de comprendre en détail les processus physiques dans la chambre et les caractériser quantitativement. Il sera important d'évaluer les facteurs de perte critiques pour les performances d'une RDC. L'étape finale de la thèse consistera à effectuer une analyse conjointe des résultats expérimentaux et numériques, et à

proposer des améliorations de la géométrie de la chambre et de son système d'injection dans le cadre de recherches futures.

Cette thèse permettra au doctorant d'aborder différentes problématiques et d'apprendre des méthodes numériques et expérimentales dans les domaines de la dynamique des fluides, de la combustion et de la détonation. Il pourra établir des contacts pour la suite de sa carrière grâce aux échanges avec des acteurs scientifiques, industriels et étatiques. Les résultats de la thèse seront présentés à des congrès internationaux et dans des articles scientifiques.

Références :

[1] Gaillard, T. (2017). Étude numérique du fonctionnement d'un moteur à détonation rotative (Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay).

[2] Gaillard, T., Davidenko, D., & Dupoirieux, F. (2017). Numerical simulation of a rotating detonation with a realistic injector designed for separate supply of gaseous hydrogen and oxygen. *Acta Astronautica*, 141, 64-78.

[3] Hellard, P., Gaillard, T., Davidenko, D., Berterretche, P., Zitoun, R., & Vidal, P. (2024). Quasi-CJ rotating detonation with partially premixed methane-oxygen injection: Numerical simulation and experimental validation. *Applications in Energy and Combustion Science*, 19, 100278.

Collaborations envisagées

Institut Pprime, CNES

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Multi-Physique pour l'Energétique

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contact : Dmitry DAVIDENKO, Thomas GAILLARD

Tél. : 01 80 38 60 54 Email : dmitry.davidenko@onera.fr
01 80 38 60 10 thomas.gaillard@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Pierre VIDAL

Laboratoire : Institut Pprime (ISAE-ENSMA)

Tél. : 05 49 49 81 71

Email : pierre.vidal@ensma.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>