

## Invitation à la soutenance de thèse

### ÉTUDE NUMERIQUE ET EXPERIMENTALE D'UNE CHAMBRE DE COMBUSTION A DETONATION ROTATIVE A INJECTION PARTIELLEMENT PREMELANGEE

Pierre Hellard

**27 novembre 2024, 14h00**

Salle de communication Bâtiment H1 SP2MI,  
11 Bd Marie et Pierre Curie, 86360 Chasseneuil-du-Poitou, France

[Lien distanciel](#)

#### Devant le jury composé de :

Luc Vervisch	CORIA, INSA Rouen	Rapporteur
Myles Bohon	Technical Universität Berlin	Rapporteur
Nabiha Chaumeix	ICARE, CNRS	Examinatrice
Jiro Kasahara	Nagoya University	Examineur
Pierre Boivin	M2P2, CNRS	Examineur
Pierre Vidal	Institut Pprime, CNRS	Directeur de thèse
Thomas Gaillard	DMPE, ONERA	Encadrant
Ratiba Zitoun	Institut Pprime, Université de Poitiers	Encadrante

#### Résumé

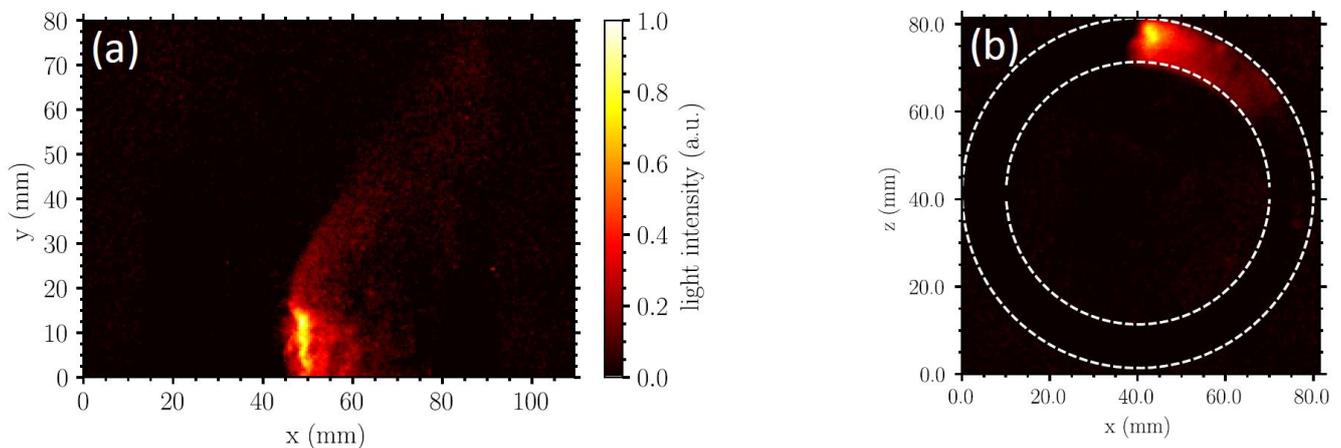
Depuis les années 1950, des concepts de propulseurs à détonation oblique, pulsée ou rotative ont été étudiés continuellement. Depuis une vingtaine d'années, le moteur à détonation rotative (RDE pour Rotating Detonation Engine) concentre la majorité des recherches. La géométrie de chambre la plus examinée est l'espace annulaire entre deux cylindres coaxiaux dans lequel les gaz réactifs sont injectés continûment et brûlés par une ou plusieurs détonations en rotation permanente. L'utilisation de la détonation comme mode de combustion dans des propulseurs aérobies ou fusées laisse espérer une amélioration significative de leurs performances, tout en réduisant l'encombrement et la masse du moteur par rapport aux systèmes conventionnels. La raison est la vitesse supersonique du front de détonation, ce qui produit un gain de pression dans la chambre et limite fortement l'épaisseur de la couche de mélange réactif.

Ces vitesses très élevées exigent des temps de mélange des ergols extrêmement courts, typiquement entre 10 et 100  $\mu$ s. L'injection séparée des ergols et ses perturbations périodiques liées aux passages des détonations produisent des non-uniformités du mélange frais diminuant la vitesse de détonation et donc, dans une certaine mesure, les performances propulsives. Inversement, le prémélange complet des ergols induit un risque de remontée de la combustion qui endommagerait l'injecteur et favoriserait la déflagration parasite au contact avec des gaz chauds. Un système d'injection optimisé constitue donc un élément essentiel d'un propulseur à détonation rotative, tant pour son bon fonctionnement que pour sa fiabilité.

Dans cette étude, un injecteur produisant un prémélange partiel des ergols avant leur injection dans la chambre de combustion a été conçu à l'aide de simulations numériques avec le code CEDRE (ONERA, DMPE) pour les mélanges  $\text{CH}_4/\text{O}_2$  et  $\text{H}_2/\text{O}_2$ . Il a ensuite été testé sur le banc RDE GAP (CNRS, Institut Pprime), ainsi qu'un autre injecteur sans prémélange partiel, d'un type habituellement utilisé sur les RDEs, à fin de comparaison. Divers régimes de détonation, leurs éventuelles variations au cours de l'essai et les phases transitoires d'allumage ont été caractérisés à l'aide de visualisations frontale et latérale de la chimiluminescence à hautes fréquences (180 à 230 kHz) et courts temps de pose (100 à 400 ns), et de mesures de pression rapides (1 MHz) à la paroi extérieure de la chambre.

L'injecteur avec prémélange partiel a permis d'obtenir pour la première fois, en chambre annulaire, des détonations se propageant à une vitesse au moins égale à 90% de la valeur théorique  $D_{CJ}$  avec le couple  $\text{CH}_4/\text{O}_2$  à plusieurs débits et richesses. L'injecteur sans prémélange partiel n'a conduit qu'à des vitesses de l'ordre de 60% de  $D_{CJ}$ . Les visualisations ont permis de caractériser les structures latérale et azimutale du front réactif. En particulier, elles mettent en évidence la propagation de la détonation au voisinage proche de la paroi d'injection, ce qui confirme un prémélange de qualité suffisante dès la sortie de l'injecteur. Plusieurs régimes et vitesses de fronts de détonation ont été observés selon les géométries de chambre testées, ce qui rappelle que l'aérodynamique interne de la chambre joue aussi un rôle important dans la stabilité de fonctionnement, toutes choses égales par ailleurs. Pour le couple  $\text{CH}_4/\text{O}_2$ , les simulations LES 3D du RDE annulaire reproduisent quantitativement les résultats expérimentaux sur la structure et la vitesse des systèmes d'ondes de combustion et de chocs. Elles confirment la bonne qualité du mélange et la faible fraction qui en est consommée par les déflagrations parasites, expliquant de fait l'obtention de hautes vitesses expérimentales de détonation.

Cette étude démontre que la méthodologie d'anticipation numérique suivie est désormais en capacité de servir à la conception des systèmes d'injection nécessaires pour obtenir de bonnes performances de RDE, tout en respectant les contraintes industrielles de sécurité et de fabrication.



*Images instantanées de chimiluminescence  $\text{CH}^*$  obtenues dans une chambre de combustion à détonation rotative. (a) Vue de côté, (b) Vue de la sortie.*

**Mots clés**

Combustion à gain de pression, Moteur à détonation rotative, Prémélange partiel, Simulation des grandes échelles, Moteurs-fusées, Méthane, Hydrogène