

## Avis de Soutenance

Monsieur Hugo KECK

Physique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

*Compréhension approfondie de la combustion de particules d'aluminium par diagnostics optiques avancés et simulation numérique*

dirigés par Monsieur Fabien HALTER et Stany GALLIER

Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU

Unité de recherche : ICARE - Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité, Environnement

Soutenance prévue le **mardi 16 décembre 2025** à 14h00

Lieu : CNRS - 1C Avenue de la Recherche Scientifique, 45380 Orléans

Salle : Sadron

### Composition du jury proposé

M. Fabien HALTER	Université d'Orléans	Directeur de thèse
Mme Silvana DE IULIIS	ICMATE-CNR	Rapporteuse
M. Zongshan LI	Université de Lund	Rapporteur
M. Jeffrey BERGTHORSON	Université de McGill	Examineur
M. Christian CHAUVEAU	ICARE-CNRS	Co-encadrant de thèse
M. Stany GALLIER	ArianeGroup	Co-directeur de thèse
M. Guillaume LEGROS	Institut d'Alembert - Université de La Sorbonne	Examineur

**Mots-clés :** Combustion, Dagnostics optiques avancés, Particules d'aluminium,

### Résumé :

Dans le cadre du développement de nouveaux moteurs à propulsion solide, des particules d'aluminium sont intégrées au propergol afin d'agir comme additif énergétique. Ce procédé améliore significativement les performances globales du moteur, mais il engendre également un écoulement diphasique à l'intérieur de la chambre de combustion. Cet écoulement peut être source de pertes de rendement et d'instabilités, parfois à l'origine de phénomènes vibratoires destructifs. Pour limiter ces inconvénients, il est essentiel de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu lors de la combustion de l'aluminium, ainsi que les caractéristiques des produits de combustion. Dans cette optique, l'étude de la combustion d'une particule unique d'aluminium a été entreprise à l'aide d'un lévitateur électrodynamique. Ce dispositif permet d'isoler, de stabiliser et d'allumer une seule particule dans un environnement parfaitement contrôlé. Afin de caractériser le processus, plusieurs diagnostics optiques ont été développés. Une méthode d'extinction de la lumière, basée sur un rétro-éclairage par LED blanche, offre une mesure multispectrale de l'extinction optique du nuage d'alumine formé autour de la particule. En parallèle, la mise en place d'une méthode numérique associée à une calibration précise de la caméra permet de distinguer les émissions gazeuses de celles issues des phases condensées. Le couplage de ces deux approches rend possible la mesure de grandeurs locales au voisinage immédiat de la particule en combustion, telles que la température, la concentration en espèces condensées et la taille des particules d'alumine produites. Cette méthodologie fournit ainsi des informations inédites et cruciales sur le déroulement de la combustion d'aluminium. L'étude a été conduite dans des environnements variés afin d'identifier les facteurs influençant les mécanismes de combustion. Des diluants tels que l'azote, l'hélium ou l'argon ont été utilisés, avec des proportions d'oxygène ajustées, des pressions croissantes, et du dioxyde de carbone comme oxydant. Ces variations expérimentales permettent de mettre en évidence des paramètres clés qui pilotent la combustion et conditionnent les caractéristiques des produits formés. Les données obtenues offrent des cibles précieuses pour l'amélioration des modèles numériques. Le modèle développé par ArianeGroup a ainsi été confronté aux résultats expérimentaux. Des écarts notables ont été relevés, principalement attribués à une représentation trop simpliste du phénomène de condensation des produits de combustion. Pour remédier à cette limite, un modèle plus élaboré a été implémenté, reposant sur la théorie de la nucléation. Dans ce nouveau cadre, la condensation n'est plus décrite par une simple loi d'Arrhenius, mais par une approche combinant un taux de nucléation et un taux d'accroissement, calculés à partir des lois de la condensation homogène. Si des divergences subsistent entre expériences et simulations, les résultats obtenus confirment l'importance d'une modélisation fine des processus de formation de l'alumine. Ce travail souligne ainsi à la fois la

complexité intrinsèque de la combustion de l'aluminium et l'apport essentiel d'un couplage étroit entre expériences de pointe et modélisations avancées pour progresser vers une compréhension et une maîtrise complètes de ce phénomène.