

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé :** Étude de la propagation d'un front de combustion à la surface d'un propergol solide

**Référence :** **Domaine-Département-Année-Numéro d'ordre**  
MFE-DMPE-2026-12

**Début de la thèse :** octobre 2026

**Date limite de candidature :** Mars-avril 2026

### Mots clés

Moteur à propergols solides ; vitesse de propagation ; transfert convectif ; transfert radiatif ; flux de chaleur surfacique ; pyrolyse ; allumage ; combustion ; mesures expérimentales

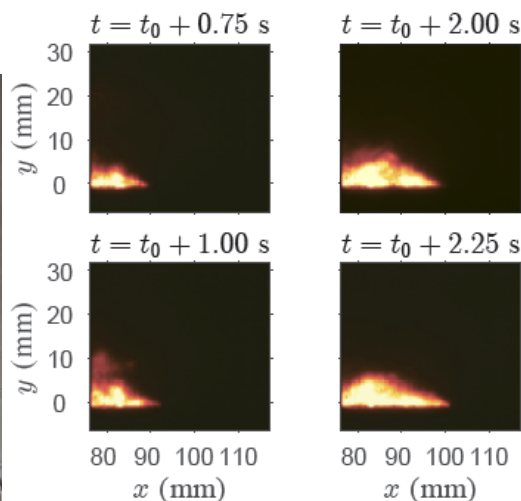
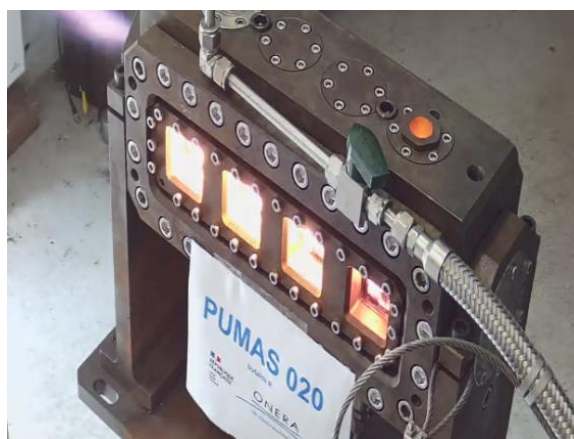
### Profil et compétences recherchées

Grande écoles ou université avec une spécialité en combustion ou propulsion.

### Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

L'allumage d'un moteur à propergol solide est une phase critique où la prévision du comportement transitoire est cruciale. Cependant, les essais moteurs à échelle réelle ou inférieure sont souvent prohibitifs en termes de temps et de ressources. La simulation numérique offre une alternative prometteuse pour étudier ces phénomènes complexes. Néanmoins, les modèles de simulation d'allumage actuels présentent des lacunes, notamment parce qu'il est difficile d'identifier et de modéliser l'ensemble des phénomènes physiques se produisant dans la zone de dégradation et de décomposition du chargement, ainsi que dans la zone de flamme [1]. Même avec un modèle simplifié supposant la zone d'intérêt infiniment mince, l'évaluation du bilan thermique local à la surface reste un challenge puisqu'il est nécessaire d'explicitier la chaleur dégagée par les réactions de pyrolyse et par la flamme ainsi que les flux de chaleur convectif et radiatif issus de l'écoulement. Une fois le problème posé, il faut aussi considérer la progression du front thermique et l'extension de proche en proche de la zone allumée et débitante ; autant de phénomènes qui perturbent le bilan thermique local et qui sont encore mal évalués. Si la vitesse de régression, c'est-à-dire la vitesse du front de combustion dans la direction normale à la surface du propergol en combustion est correctement modélisée par la loi de Vieille, qu'en est-il de la vitesse du front de combustion à la surface du propergol (vitesse tangentielle) ? Existe-t-il une vitesse intrinsèque de propagation ? Si oui, est-il possible de la modéliser par une loi analogue ? La littérature existante reste fragmentaire, avec quelques travaux expérimentaux menés aux États-Unis [1], au Japon [2], en Italie [3], en Inde [4] à Taïwan [5] et en France [7][8]. Dans la majorité de ces études, la vitesse de propagation de la flamme a été mesurée sous pression atmosphérique ou en convection forcée. Cependant, aucun modèle universel et systématique reliant la vitesse de propagation au flux thermique incident sur la surface libre n'a encore été proposé.

L'objectif de la thèse est ainsi d'apporter des premières réponses à ces questions en exploitant le banc PUMAS de l'ONERA (voir Figure 1, gauche). Ce moyen expérimental permet, entre autres, de visualiser la dynamique du front de combustion (voir Figure 1, droite) à la surface d'un échantillon de propergol solide, sous une pression initiale réglable par une injection auxiliaire d'azote. Un axe d'amélioration majeur sera de développer un moyen de mesure directe du flux thermique perçu par la surface libre à proximité du front de combustion. La vitesse de propagation est quant à elle déterminée à partir de cinématographie infra-rouge. Il s'agira de réaliser une campagne d'essais avec différents niveaux de pression et de flux thermique (convectifs et radiatifs) et d'apporter des premières modélisations phénoménologiques de la dynamique de propagation du front, par exemple, comprendre comment varient la vitesse de propagation et son accélération en fonction du flux thermique, et de la pression. Il s'agira ensuite de proposer une adaptation du modèle d'allumage, voire un nouveau modèle, capable de restituer la dynamique de l'allumage et de la propagation de flamme au sein d'un moteur.



**Figure 1** : Gauche : montage PUMAS pour l'étude de la dynamique de propagation à la surface d'un propergol solide. Droite : exemple de propagation du front de combustion par visualisation IR.

Ce sujet de thèse permettra des interactions avec toute l'équipe de recherche en propulsion solide, impliquant différents profils d'ingénieurs de recherche : expérimentateurs, diagnosticiens, modélisateurs... Le candidat sera amené à faire preuve de recul et d'esprit scientifique sur des aspects pratiques (définition de plan d'expérience, analyse approfondie des résultats expérimentaux...) mais aussi sur la compréhension physique des phénomènes (modélisation à l'échelle de la flamme propergol, modélisation phénoménologique dans la chambre...)

#### Références bibliographiques

- [1] Orlandi O., Fourmeaux F., Dupays J. (2019) 8th EUCASS
- [2] Mitchell, R. C., & Ryan, N. W. (1965). Journal of Spacecraft and Rockets, 2(4), 610-612.
- [3] Andoh, E., et al. (1981). Combustion Science and Technology, 26(3-4), 135-146
- [4] Galfetti, L. et al. (2000). Combustion, Explosion and Shock Waves, 36(1), 108-118
- [5] Raghunandan, B. N., et al. (2001). Journal of Propulsion and Power, 17(1), 73-78.
- [6] Yang, J. T., et al. (2009). Combustion and flame, 156(10), 1917-1925
- [7] Orlandi, O. et al. (2023). 10th EUCASS, paper 814
- [8] Orlandi, O. and Richard, B (2025) 11th EUCASS, paper 534

#### Collaborations envisagées

N/A

#### Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Multi-Physique pour l'Energétique

Lieu (centre ONERA) : CP

**Contact** : Stéphane Boulal

Tél. : 86091

Email : stephane.boulal@onera.fr

#### Directeur de thèse

Nom : Joël Dupays

Laboratoire : ONERA CP

Tél. : 86030

Email : joel.dupays@onera.fr

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