

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Analyse du rôle des gouttes d'aluminium dans l'acoustique interne d'un moteur à propergol solide

Référence : **MFE-DMPE-2025-09**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2025

Date limite de candidature : 03/2025

Mots clés

Instabilités thermoacoustiques, Combustion de gouttes métalliques, Tourbillons, Moteurs à propergol solide, Développements analytiques, Simulations numériques, Acoustique

Profil et compétences recherchées

Appétence pour développements mathématiques et analyses de simulations d'écoulements réactifs, diphasiques et instationnaires

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Comme tout système propulsif, les moteurs à propergol solide sont fréquemment sujets à des instabilités de fonctionnement [1]. Des moteurs récents comme le P80 ou le P120C des lanceurs VEGA et Ariane 6 n'échappent pas à ce constat. Cela tient principalement au dégagement, au cours de la combustion du propergol, d'une forte quantité d'énergie dans un volume relativement restreint. Le détournement d'une très faible part de cette énergie en fluctuations localisées de vitesse et de pression suffit pour générer des instabilités de plus grande ampleur qui finissent quasiment toujours par s'organiser autour de fréquences privilégiées liées à la géométrie interne, en l'occurrence les fréquences des modes acoustiques de la chambre de combustion. Dans un moteur à propergol solide, celle-ci est souvent allongée de sorte que les modes acoustiques impliqués sont principalement les modes longitudinaux. Des oscillations de pression de faibles amplitudes peuvent ainsi se traduire par des oscillations de poussée notables qui, même si elles menacent rarement l'intégrité du moteur ou de l'engin via un couplage avec les modes propres de la structure, n'en constituent pas moins une source de vibrations gênantes voire néfastes pour la charge utile et les équipements. Par exemple, pour le P230 d'Ariane 5, l'amplitude relative des fluctuations de poussée était estimée à environ 5 % pour une amplitude relative des fluctuations de pression mesurées ne dépassant pas le demi pourcent [2].

Dans ces moteurs, la transformation au cours de la combustion de l'énergie stockée dans les liaisons moléculaires en énergie mécanique et la dynamique de l'écoulement des produits de combustion ont souvent un rôle actif dans le déclenchement des instabilités. Si le rôle de la combustion est prépondérant, on parlera d'instabilités de combustion. Si c'est celui de l'écoulement, on parlera d'instabilités hydrodynamiques, pour lesquelles des tourbillons apparaissent dans la chambre de combustion. Cette distinction est commode pour procéder à une classification des instabilités mais, en pratique, il n'est pas rare d'observer ou sinon de soupçonner l'existence de couplages entre ces différents mécanismes de sorte qu'il n'est pas toujours aisé d'identifier l'origine de l'instabilité et son promoteur. Un moteur peut aussi développer plusieurs types d'instabilités en cours de fonctionnement, par exemple une instabilité d'origine hydrodynamique en début de tir puis des instabilités de combustion par la suite, comme pressenti sur les propulseurs P120C et P80 [3,4], ou encore deux types d'instabilités hydrodynamiques couplées, comme interprété sur le P230 d'Ariane 5 [5].

Dans le cadre de cette thèse, on s'intéressera plus particulièrement à l'instabilité de combustion impliquant les gouttes d'aluminium libérées lors de la combustion du propergol solide) [6], à laquelle on superposera une instabilité hydrodynamique générant des tourbillons dans la zone de combustion des gouttes d'aluminium.

Pour étudier cette interaction triple (acoustique – gouttes en combustion – tourbillons), le planning de thèse suivant est envisagé : (1) Simulations numériques pour base de données prenant en compte des effets de modèles de combustion d'aluminium et la présence ou non de tourbillons, (2) Développement analytique d'une fonction de transfert de flamme validé par simulation pour de nouveaux modèles de combustion d'aluminium, sans tourbillon (voir par exemple [7]), (3) Analyses, assistées par bilan d'énergie acoustique [8], du couplage acoustique – gouttes – tourbillons, pour des gouttes réactives ou inertes, dans les simulations réalisées.

Une production de multiples publications soumises à des journaux internationaux avec comité de lecture sont attendus du doctorant, présentant des résultats de simulations, avec lois d'échelles assistées par

analyses dimensionnelles, et des modèles analytiques. Le doctorant sera également encouragé à participer à des conférences internationales.

- [1] Kuentzmann, P. (2002). Introduction to solid rocket propulsion. NATO technical report RTO-EN-023
- [2] Scippa, S., Pascal, P., & Zanier, F. (1994). Ariane 5-MPS-Chamber pressure oscillations full scale firing results: Analysis and further studies. In 30th Joint propulsion conference and exhibit (p. 3068).
- [3] Larrieu, S., Orlandi, O., Godfroy, F., & Di Trapani, C. (2018). Two minutes inside P120C SRM. Space Propulsion.
- [4] Grossi, M., Bianchi, D., & Favini, B. (2022). Investigation of Q1D Model for Pressure Oscillations in Solid Rocket Motors, In 9TH EUCASS.
- [5] Lupoglazoff, N., Vuillot, F., Dupays, J., & Fabignon, Y. (2000, November). Numerical simulations of the unsteady flow inside Ariane 5 P230 SRM booster with burning aluminum particles. In 2nd European Conference on Launcher Technology, Rome, Italy.
- [6] Genot, A. (2019). Instabilités thermoacoustiques dans les moteurs à propergol solide (Doctoral dissertation, Université Paris Saclay (COMUE)).
- [7] Genot, A., Gallier, S., & Schuller, T. (2019). Model for acoustic induced aluminum combustion fluctuations in solid rocket motors. Journal of Propulsion and Power, 35(4), 720-735. <https://doi.org/10.2514/1.B37437>
- [8] Radenac, E. (2013). Fluctuating energy balance for post-processing multiphase flow computations. Journal of Propulsion and Power, 29(3):699–708. <https://doi.org/10.2514/1.B34616>

Collaborations envisagées

CNES

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Multi-Physique pour l'Energétique

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contact : Aurélien Genot

Tél. : +33 5 62 25 29 01 Email : aurelien.genot@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Emmanuel Radenac / Joël Dupays

Laboratoire : ONERA/DMPE

Tél. : +33 5 62 25 26 67 / +33 1 80 38 60 30

Email : emmanuel.radenac@onera.fr / joel.dupays@onera.fr

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