

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Modélisation d'ordre réduit des oscillations de pression induites par le col thermique d'un statomixte bas Mach

Référence : **MFE-DMPE-2022-33**

Début de la thèse : Octobre 2022

Date limite de candidature : Avril 2022

Mots clés : Aéro-acoustique, Aérothermique, Propulsion Aérobie

Profil et compétences recherchées

Diplôme d'Ingénieur ou Master en mécanique des fluides, avec spécialité en acoustique et aérothermique.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Sujet : Des considérations stratégiques poussent les Etats à développer des vecteurs capables d'évoluer dans le régime hypersonique, c'est-à-dire à des vitesses supérieures à Mach 5. Pour cette gamme de vitesse de vol, la solution propulsive optimale repose sur le concept de stato- ou superstatoréacteur, capables de produire une force de réaction par combustion d'un carburant, sans nécessiter aucune pièce mobile. Au-delà du nombre de Mach de vol 7, le superstatoréacteur, à combustion supersonique, devient plus performant que le statoréacteur, à combustion subsonique, limité à cause des fortes pertes de charge, des effets de la dissociation des produits de réaction et des contraintes thermomécaniques. Le statomixte, passant d'un régime de combustion à l'autre, est une solution pour garantir des performances optimales sur une large plage de nombre de Mach de vol [1]. Cependant, l'usage d'une tuyère, dont l'amorçage se traduit par le blocage de débit à travers un col géométrique, devient inadapté pour la combustion supersonique. Combiné à un divergent, le col thermique, produit par le dégagement de chaleur de la combustion, assure le passage subsonique-supersonique de l'écoulement, pendant le mode statoréacteur, et ne contraint pas le moteur lors du mode superstatoréacteur (Figure 1).

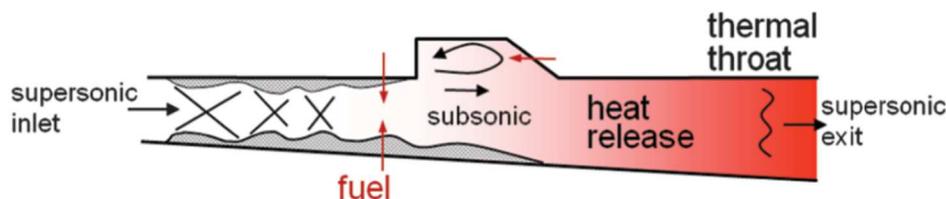


Figure 1. Chambre d'un statomixte bas-Mach [2].

Problématique commune à tous les systèmes propulsifs, les instabilités de combustion constituent un des phénomènes les plus critiques. Pour les étudier, les sources et les frontières acoustiques doivent d'abord être déterminées. Dans le cas d'un statomixte bas Mach, le col thermique isole acoustiquement l'aval de la chambre par le passage subsonique-supersonique de l'écoulement. Or, les interactions acoustiques avec cette configuration d'amorçage de tuyère ont été très peu répertoriées dans la littérature et restent à découvrir. Néanmoins, une étude a tenté de caractériser les fréquences longitudinales dans une chambre de statomixte avec une cavité accroche-flamme [3], mentionnant le col thermique comme une frontière acoustique. Cependant, aucune propriété acoustique du col thermique n'a été obtenue.

L'objectif de cette thèse est donc de caractériser le comportement acoustique du col thermique afin de construire un modèle réduit contribuant à l'étude des instabilités de combustion dans un statomixte bas-Mach. Cette thèse est principalement de nature théorique et numérique.

Du fait de la nouveauté du sujet, une approche de nature phénoménologique et académique est envisagée dans un premier temps. Cependant, la formation expérimentale du col thermique suppose un couplage irréductible entre la zone d'apport de chaleur et l'écoulement à cause de la sensibilité des sources de chaleur aux fluctuations de pression (combustion, absorption du rayonnement). Par conséquent, une approche dite « numérique expérimentale » est adoptée, autorisant le découplage artificiel de la source de chaleur, imposée dans le calcul, et l'écoulement. Ainsi, la partie acoustique des instabilités de combustion, potentiellement liées au col thermique, peut être étudiée séparément de la partie concernant le processus de combustion. En outre, cette méthode permettra de distinguer les différentes contributions et influences des perturbations et leur interaction avec la structure de l'écoulement, typique du col thermique, avec un nombre minimal d'hypothèses.

Les termes sources associés à la présence du col thermique et la réponse acoustique de cette frontière sont d'abord identifiés, analysés scientifiquement et leur comportement est étudié. Pour cela, le doctorant réalisera une étude paramétrique, basée sur des simulations numériques effectuées avec CEDRE, le code multi-physique de l'ONERA, dans des configurations académiques.

Différents types de perturbations tels que les tourbillons (Howe [4]) et les inhomogénéités entropiques (Morfe [5]), en interagissant avec un écoulement contraint par un col géométrique, produisent du son (Hirschberg [6]). Ces perturbations sont représentatives des instationnarités présentes dans une chambre de combustion et jouent un rôle majeur dans les instabilités de combustion. Dans la chambre de combustion d'un statomixte bas Mach, des perturbations similaires peuvent être formées.

Plusieurs aspects sont donc à traiter tels que la caractérisation de l'impédance du col thermique et les sources acoustiques produites par l'interaction des tourbillons ou des inhomogénéités entropiques avec le col thermique et l'écoulement associé. D'autre part, à cause de la forte dépendance de la formation du col thermique à l'apport de chaleur, la forme et la position du col thermique pourraient se modifier en fonction des perturbations énergétiques de l'écoulement subsonique. L'impact de ce phénomène sur la réponse acoustique doit alors être évalué.

A partir des résultats obtenus avec l'étude paramétrique, des hypothèses pourront être émises et de nouvelles approches pourront être adoptées, conduisant à l'usage de solveurs acoustiques déjà existants. Les résultats de ces outils pourront être comparés et évalués afin d'établir leur capacité à reproduire les phénomènes observés lors de l'étude paramétrique. Cette comparaison permettra d'obtenir une base théorique pour le développement d'un nouveau modèle d'ordre réduit de la réponse aux perturbations par le col thermique et l'écoulement le formant.

[1] Curran, Edward T., and Stull, Frank D. The utilization of supersonic combustion ramjet systems at low Mach numbers. Research and Technology Div Bolling AFB DC, 1964.

[2] Donohue, James M. Dual-Mode Scramjet Flameholding Operability Measurements, Journal of Propulsion and Power 2014 30:3, 592-603. doi: 10.2514/1.B35016

[3] Lin, K.-C., Jackson, K., Behdadnia, R., Jackson, T. A., Ma, F. and Yang, V. Acoustic Characterization of an Ethylene-Fueled Scramjet Combustor with a Cavity Flameholder, Journal of Propulsion and Power 2010 26:6, 1161-1170. doi: [10.2514/1.43338](https://doi.org/10.2514/1.43338)

[4] Howe, M. *Theory of Vortex Sound* (Cambridge Texts in Applied Mathematics). Cambridge: Cambridge University Press (2002). doi:10.1017/CBO9780511755491

[5] Morfe, C.L. Amplification of aerodynamic noise by convected flow inhomogeneities, Journal of Sound and Vibration, 1973, vol. 31, n°4, pp. 391-397. doi : [10.1016/S0022-460X\(73\)80255-X](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(73)80255-X)

[6] Hirschberg, L. Low order modeling of vortex driven self-sustained pressure pulsations in solid rocket motors. Université Paris-Saclay, 2019. English. (NNT : 2019SACL001). (tel-02019520)

Collaborations envisagées :

DGA/AID

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : DMPE

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contacts : Jean-Etienne Durand, Aurélien Genot

Tél. : 01 80 38 62 53/ 01 80 38 60 76

Email : jean-etienne.durand@onera.fr,
aurelien.genot@onera.fr**Directeur de thèse**

Nom : Estelle Piot

Laboratoire : ONERA/DMPE/ITAC

Tél. : 05 62 25 28 12

Email : estelle.piot@onera.frPour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>