

Titre : Stratégie d'allumage d'une chambre de combustion aéronautique par retournement temporel
(Thèse ONERA/LAPLACE)

Début de thèse : à partir du 1/10/2022

Date limite de candidature : 20/04/2022

Mots clés : écoulement multiphasique – Allumage – Plasma – Retournement temporel – Micro-ondes

Profil et compétences recherchées :

Ingénieur grandes écoles ou Titulaire d'un Master

Connaissances dans un ou plusieurs des thèmes suivants : combustion, écoulement multiphasique, plasma, micro-ondes

Sujet :

L'allumage ou le ré-allumage d'un brouillard de carburant est un point critique pour la conception d'une chambre de combustion aéronautique aérobie tant du point de vue de l'opérabilité que de celui de la sécurité. Le système classique d'allumage repose sur une bougie à arc positionnée en paroi à un emplacement précis de la chambre. Ce système, bien qu'éprouvé, n'est pas optimal en terme de performance et ne garantit pas le succès de l'allumage à chaque étincelle. On peut, par exemple, noter que la présence de la paroi produit des pertes thermiques importantes limitant le dépôt d'énergie dans l'écoulement. De même, l'emplacement fixe de la bougie n'est pas forcément adapté aux différents régimes du moteur suivant notamment la température et la pression environnantes.

Parmi les alternatives existantes, le laboratoire LAPLACE et l'ONERA proposent d'utiliser le principe du retournement temporel avec des microondes pour créer un dépôt d'énergie modulable en espace et en temps dans la chambre de combustion. La focalisation de l'énergie permet de générer un plasma à l'instant et à l'endroit voulus, ce plasma permettant à son tour d'allumer un brouillard de carburant. Les travaux expérimentaux menés précédemment dans le cadre des thèses de V. Mazières [1] (thèse LAPLACE 2020) et de B. Fragge [2] (thèse ONERA/LAPLACE 2022) ont démontré la capacité du retournement temporel à générer respectivement, un plasma à basse pression et un plasma à pression atmosphérique suivi de l'allumage du carburant.

Cependant la puissance à disposition ainsi que la fréquence de 2,45GHz utilisées jusqu'à présent nécessitent des initiateurs spécifiques pour créer la décharge plasma assurant l'allumage du carburant. S'affranchir de ces initiateurs est possible mais requiert soit une montée en fréquence pour assurer une meilleure focalisation spatiale de l'onde, soit une montée en puissance. Pour des raisons de coûts encore trop élevés, ces options n'ont pas été choisies à ce stade de l'étude.

L'objectif de la thèse s'inscrit dans la lignée des études précédentes en traitant spécifiquement l'autre point dur de cette technique originale: le déplacement de la décharge plasma dans la chambre de combustion. Afin de rester dans la même gamme de fréquences et de puissance une nouvelle stratégie est proposée : la création de la décharge plasma sera assurée de manière indépendante et stable par un système ayant déjà fait ses preuves de type Radio-Fréquence (RF) [3] ou résonateur coaxial quart d'onde Hyperfréquence (HF) [4]. Cette nouvelle stratégie s'affranchit ainsi de la difficulté de la création du plasma qui nécessite une densité de puissance très élevée. En effet, une fois le plasma allumé, il constitue un milieu ionisé plus sensible aux microondes nécessitant une puissance beaucoup plus faible pour être entretenu. Ainsi, l'étude pourra se concentrer sur l'optimisation du retournement temporel pour permettre de déplacer la décharge plasma dans la cavité représentative de la chambre de combustion. Cette étape cruciale se décomposera en 2 axes :

- l'étude de l'organisation temporelle et spatiale du champ électromagnétique à appliquer à proximité du plasma généré par la source RF ou HF afin de le déformer puis de le déplacer dans la cavité. Cette étude s'appuiera sur des travaux de la littérature [5,6] et sur une modélisation simplifiée du phénomène à l'aide de codes dédiés existants au LAPLACE [7].
- l'élaboration de la forme temporelle de l'onde injectée dans la cavité permettant de déplacer la focalisation de l'énergie en suivant la dynamique et la trajectoire souhaitées. Pour cela, on effectuera une étape d'apprentissage spécifique utilisant des sondes peu intrusives de types Kapteos et/ou Enprobe déjà en possession du LAPLACE.

Il est à noter que suivant les résultats obtenus et le temps disponible, une étape supplémentaire sans la source RF ou HF initiale pourra être envisagée. Le plasma serait alors généré directement par retournement temporel en focalisant l'onde sur un initiateur comme cela a été fait dans la thèse de Beatrice Fragge, puis déplacé avec la nouvelle technique de retournement temporel mise en œuvre.

Outre le travail sur le déplacement du plasma, la thèse abordera aussi l'interaction entre le brouillard de carburant liquide et le plasma. Cette étude se limitera à l'établissement à partir d'observations expérimentales de seuils en puissance et en temps nécessaire à l'allumage du carburant. Ces travaux seront réalisés sur une cavité d'essais située au laboratoire LAPLACE reproduisant partiellement les conditions d'une chambre de combustion (brouillard de carburant liquide, conditions ambiantes,...). La thèse sera encadrée par des spécialistes du retournement temporel microondes, des plasmas et de l'allumage.

Références :

[1] Thèse V. Mazières : « Claquage Microonde par Retournement temporel », Université de Toulouse, 27/11/2020

[2] Thèse B. Fragge : « Allumage d'une chambre de combustion par retournement temporel micro-onde », 17/03/2022.

[3] Thèse F Auzas. « Décharge radiofréquence produite dans les gaz à pression élevée pour le déclenchement de combustion », 2008

[4] FA Pertl et al. « Design of a compact quarter wave coaxial cavity resonator for plasma ignition applications ». In : International Journal of Microwave and Wireless Technologies vol. 3.no. 4 (2011), p. 485-491

[5] Thèse K. Kourtzanidis, K. « Modélisation numérique d'actionneurs plasma pour le contrôle d'écoulement. », Université de Toulouse, 2014

[6] E. Arcese, « Plasma fluid modeling of microwave streamers: Approximations and accuracy. » Physics of Plasmas 24, 2017

[7] « Space-Time Plasma-Steering Source: Control of Microwave Plasmas in Overmoded Cavities » V. Mazières, O. Pascal, R. Pascaud, L. Liard, S. Dap, R. Clergereaux, and J.-P. Boeuf Phys. Rev. Applied 16, 2021

Encadrement :

Directeur de thèse : Groupe de Recherche en Electromagnétisme au Laboratoire LAPLACE Nom : Jérôme Sokoloff Laboratoire : LAPLACE Tél. : 05.61.55.76.96 Email : jerome.sokoloff@laplace.univ-tlse.fr	Co-directeur de thèse : Département Multiphysique Pour l'Energétique, à l'ONERA Toulouse Nom : Olivier Rouzaud Laboratoire : LAPLACE Tél. : 05.62.25.29.76 Email : rouzaud@onera.fr
--	--