



HAL
open science

Etude de l'allumage d'un carburant liquide par des micro-onde focalisées

Beatrice Fragge, Jérôme Sokoloff, Olivier Pascal, Olivier Rouzaud, Mikael
Orain

► **To cite this version:**

Beatrice Fragge, Jérôme Sokoloff, Olivier Pascal, Olivier Rouzaud, Mikael Orain. Etude de l'allumage d'un carburant liquide par des micro-onde focalisées. JCMM 2020 - 16èmes Journées de caractérisation microondes et matériaux, Laboratoire plasma et conversion d'énergie (LAPLACE) / Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS-CNRS), Nov 2020, Virtuel, France. pp.207-208. hal-03073947

HAL Id: hal-03073947

<https://hal.science/hal-03073947>

Submitted on 16 Dec 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude de l'allumage d'un carburant liquide par des micro-onde focalisées

B. Fragge¹, J. Sokoloff², O. Pascal², O. Rouzaud¹, M. Orain¹

¹ONERA – The French Aerospace Lab, Toulouse, France

² Université Paul Sabatier, Toulouse, France

Beatrice.Fragge@onera.fr

Résumé — Ce papier montre les résultats d'une première maquette qui vise l'amorçage d'un plasma dans une cavité résonante par des micro-ondes focalisées dans l'air ambiant et l'allumage d'un train de gouttes d'éthanol. Le but est de déterminer des seuils d'allumage en terme de puissance et de temps d'application, une fois le plasma créé. Ces informations serviront de base pour des travaux futurs avec une stratégie de retournement temporel. Les expériences montrent qu'avec la cavité, on est capable d'amorcer un plasma et d'allumer des gouttes d'éthanol. Une première estimation de la puissance nécessaire pour entretenir l'allumage du train de gouttes d'éthanol dans la cavité est d'environ 18 W.

I. INTRODUCTION

Dans les foyers aéronautiques aérobies, la combustion se fait avec l'air comme oxydant. Le carburant est injecté sous forme liquide pour des raisons de performance et de sécurité. L'un des points cruciaux concerne l'allumage du moteur, par exemple dans des cas de démarrage à froid ou de réallumage en vol [1]. Ce sont des conditions critiques.

Le système classique repose sur une bougie à arc électrique [2], placée en paroi de la chambre de combustion. Si ce système répond aux certifications de l'aéronautique civile, son utilisation pose plusieurs questions. En particulier, la quantité d'énergie déposée dans l'écoulement par la bougie à arc est inconnue et une partie relativement importante de l'énergie est perdue aux parois. C'est pourquoi de nouveaux dispositifs d'allumage sont actuellement en cours de développement pour les foyers aérobies.

Le travail présenté étudie les potentialités d'un allumeur basé sur un système micro-onde [3, 4] et l'utilisation du retournement temporel (RT). Comme Mazières *et al.* l'ont montré [5], la création et le contrôle d'un plasma par RT sont possibles. Dans la section II, nous présentons les outils utilisés et la maquette réalisée. Ensuite, nous présentons les résultats expérimentaux dans la section III avant de finir avec la conclusion et les travaux à venir.

II. PREMIERS TRAVAUX

Le premier objectif est de concevoir un dispositif permettant de concentrer le champ le plus possible afin de maximiser les chances de créer un plasma d'air à la pression atmosphérique puis d'allumer des gouttes d'éthanol. Pour atteindre cet objectif, nous avons choisi de combiner, d'une part, l'effet de surtension dans une cavité résonante, et d'autre part, l'effet obtenu par des concentrateurs/initiateurs spécifiques placés à l'intérieur.

Ainsi, la cavité a été conçue pour résonner autour de la fréquence $f = 2.45$ GHz. Les micro-ondes sont injectées avec

une précision de 100 kHz sur une bande allant de 2,40 à 2,50 GHz pour une puissance maximale disponible de 200 W. La fréquence de résonance et le facteur de qualité Q ont été déterminés avec chaque type de concentrateur par une caractérisation avec un analyseur de réseau.

A. Simulations électromagnétiques

La cavité a été conçue à l'aide du logiciel HFSS de ANSYS. Ce logiciel résout les équations Maxwell avec la méthode des éléments finis. Le maillage est fait automatiquement ainsi que le raffinement adaptatif jusqu'à ce que les critères de convergence soient atteints. Les simulations sont obtenues au moyen du solveur Driven Modal avec seulement le connecteur coaxial et les initiateurs comme matériaux solides dans le volume de la cavité remplie d'air. Les micro-ondes sont injectées via un waveport au niveau du connecteur coaxial.

B. La cavité

La cavité a été conçue avec plusieurs degrés de liberté pour permettre une adaptation facile en fonction des différents initiateurs. Premièrement, il est possible de changer la longueur de la cavité grâce à des parois mobiles placées à ses extrémités. Dans un deuxième temps, on peut régler la pénétration du connecteur coaxial dans la cavité par lequel on injecte les micro-ondes. En plus, les brides sont interchangeables ce qui permet d'injecter le train des gouttes soit le long de l'axe z parallèle à l'axe des initiateurs, soit le long de l'axe y, transversalement aux initiateurs (figure 1).

Pendant les expériences, trois types d'initiateurs ont été testés : des pointes, des cylindres avec une tête plate ou une tête sphérique. La taille de gap entre les pointes est ajustable entre 0 et 5 mm. Les initiateurs cylindriques permettent également d'injecter le train de gouttes suivant leur axe de symétrie.

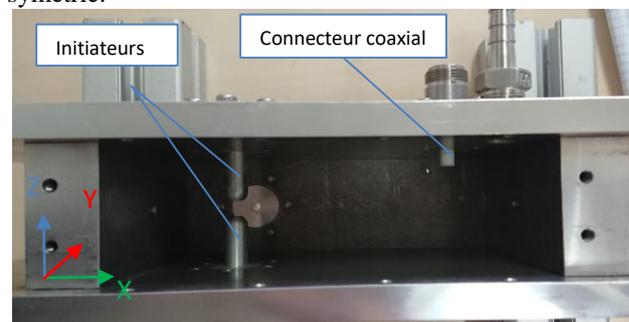


Fig. 1. Cavité ouverte avec des initiateurs cylindriques avec tête sphérique.

Le carburant est inséré dans la cavité au moyen d'un injecteur monodisperse créant un train de gouttes. En modifiant la taille du diaphragme à la sortie de l'injecteur et en jouant sur la fréquence du générateur pilotant la cellule piézo-électrique, on peut faire varier la taille des gouttes entre 100 μm et 300 μm avec le système utilisé. Le train de gouttes ainsi créé contient des gouttes de diamètre quasi-constant et régulièrement espacées. Les expériences ont été faites avec de l'éthanol. Du kérosène sera testé ultérieurement.

III. RESULTATS

Les expériences ont montré la possibilité d'allumer un plasma dans la cavité remplie d'air dans les conditions ambiantes ($\sim 20^\circ\text{C}$ et 1 bar) avec deux des trois initiateurs. Avec les cylindres à tête sphérique, le plasma s'allume sur l'arête du trou au milieu, mais seulement sur un des deux initiateurs à chaque fois. Le plasma est légèrement décentré. Avec les pointes, on peut allumer un plasma sur une pointe, sur les deux pointes simultanément ou encore observer un arc entre les deux pointes, selon la puissance injectée. Les claquages sont possibles, mais pas systématiques, à partir d'une puissance envoyée de 100 W. En regardant la puissance réfléchie au moyen d'un coupleur et d'un oscilloscope, on peut capter la signature d'un claquage qui est quasi instantané. Sur la figure 2, on voit l'enveloppe du signal réfléchi à 2,45 GHz au cours du temps.

Au moment t_1 , on commence à envoyer la puissance qui augmente jusqu'à son maximum de 200 W à t_2 . L'énergie qui entre dans la cavité commence à chauffer les parois et, en conséquence, cause une dilatation de la cavité qui produit une baisse de la puissance réfléchie. Elle diminue jusqu'au moment t_3 où, en un instant, la majorité de l'énergie envoyée entre et crée le claquage du plasma. L'existence du plasma cause une augmentation nette de la puissance réfléchie qui reste constante pendant le maintien du plasma au-delà de t_3 .

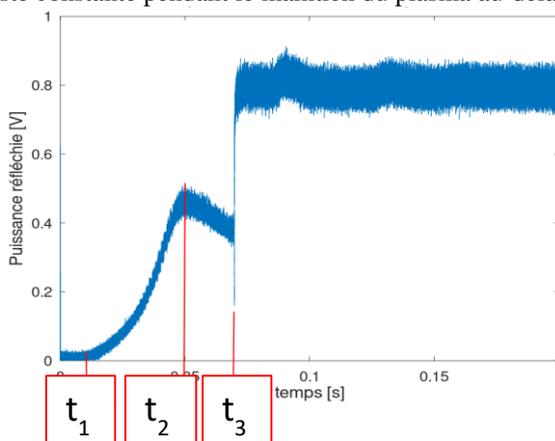


Fig. 2. Exemple de variation de la puissance réfléchie pendant les tests de claquage.

Le test d'allumage avec les pointes comme initiateurs et le jet injecté le long de l'axe y transversal à l'axe des initiateurs a montré que le plasma est capable d'allumer un train de gouttes d'éthanol de taille 200 μm .

Quand le train de gouttes est injecté en premier et les micro-ondes après, on observe un claquage immédiat du

plasma sur les deux pointes sans connexion au milieu et sans combustion. Le plasma se déforme jusqu'à l'instant où un allumage explosif se produit, lié à l'accumulation des vapeurs d'éthanol dans la cavité. La flamme sort de la cavité et se propage jusqu'au collecteur du liquide au-dessus de la cavité.

Si, inversement, on injecte les micro-ondes en premier, on crée un arc entre les pointes. Dès que le train de gouttes est injecté, l'éthanol s'enflamme quand il arrive dans la zone du plasma. Un allumage est même possible quand on injecte le carburant liquide en jet non-monodisperse. La figure 3 montre l'arc entre les pointes (a) et l'allumage qui suit (b), une fois l'éthanol injecté.

Tant que les micro-ondes et le train de gouttes d'éthanol coexistent dans la cavité, on observe deux sphères lumineuses distinctes sur chacune des pointes. Dès qu'on arrête le jet, l'arc entre les pointes se remet en place.

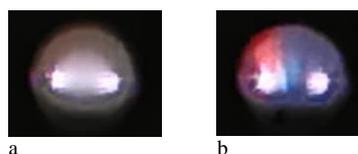


Fig. 3. Images de la zone entre les pointes pendant les tests d'allumage : Tests avec l'arc entre les pointes (a) en premier et l'injection/allumage du jet en second (b).

On a également pu déterminer qu'il est possible d'amorcer un plasma dans la cavité étudiée à partir d'une puissance de 100 W. Pour les expériences d'allumage, on a préféré injecter 200 W car le claquage est plus probable à cette puissance. Une fois le plasma allumé, on constate qu'il suffit d'injecter seulement environ 18 W dans la cavité pour entretenir l'allumage du train de gouttes d'éthanol.

IV. CONCLUSION/PERSPECTIVES

Les expériences menées ont montré que nous sommes capables d'amorcer un plasma dans l'air aux conditions ambiantes ($\sim 20^\circ\text{C}$ et 1 bar) par des micro-ondes focalisées de puissance raisonnable et que ce plasma est suffisamment énergétique pour allumer un train de gouttes d'éthanol.

L'étape suivante consistera à répéter les expériences avec du kérosène avant d'appliquer le principe du retournement temporel couplé aux micro-ondes à l'allumage d'un carburant aéronautique.

REFERENCES

- [1] G. Linassier, "Etude expérimentale et numérique de l'allumage des turboréacteurs en conditions de haute altitude". 2012. Thèse de doctorat. Toulouse, ISAE.
- [2] S. K Aggarwal, "A review of spray ignition phenomena: present status and future research". *Progress in Energy and Combustion Science*, 1998, vol. 24, no 6, p. 565-600.
- [3] E. S. Stockman, S. H. Zaidi, R. B. Miles, *et al.* "Measurements of combustion properties in a microwave enhanced flame" dans *Combustion and Flame*, 2009, vol. 156, no 7, p. 1453-1461.
- [4] Y. Ikeda, A. Nishiyama, et M. Kaneko, "Microwave enhanced ignition process for fuel mixture at elevated pressure of 1MPa" dans *47th AIAA aerospace sciences meeting including the new horizons forum and aerospace exposition*. 2009, p. 223.
- [5] V. Mazières, R. Pascaud, L. Liard, *et al.*, "Plasma generation using time reversal of microwaves" dans *Applied Physics Letters*, 2019, vol. 115, no 15, p. 154101.