

Projet de recherche doctoral 2018- 2021

Etude de l'électrification de gouttes de combustible aéronautique et influence sur la combustion.

Encadrement :

Laboratoire PPRIME: Christophe LOUSTE, Julien SOTTON et Marc BELLENOUE
Christophe.louste@univ-poitiers.fr, julien.sotton@ensma.fr, marc.bellenoue@ensma.fr

SAFRAN Aircraft Engines: Alain CAYRE
alain.cayre@safrangroup.com

Profil : Diplôme de Master et / ou d'Ingénieur en mécanique des fluides, énergétique, combustion.

Financement : CIFRE SAFRAN AE.

Depuis plus de 20 ans le trafic aérien présente un taux de croissance constant de 5 %. Aussi, l'amélioration de la combustion et le développement de nouveaux systèmes propulsifs est donc un enjeu majeur afin de limiter l'impact du trafic aérien sur l'environnement et la santé de l'Homme, mais également en termes de compétitivité économique pour les compagnies aériennes, du fait des fortes hausses des prix des produits pétroliers.

En 2001, l'ACARE a défini une feuille de route très contraignante afin d'orienter les recherches et le développement de nouveaux systèmes propulsifs pour les années 2020 et 2050. Ainsi l'objectif fixé pour l'horizon 2050 est une réduction de 75% des émissions de CO₂, 90% des émissions de NO_x, ainsi qu'une diminution de 65% du bruit par rapport à un avion mis service en 2000.

Pour atteindre ces objectifs, les constructeurs de moteurs aéronautiques ont imaginé et conçu de nouvelles architectures de chambre de combustion. Une des méthodes permettant de réduire significativement les émissions de NO_x est l'utilisation de la combustion pauvre prémélangée permettant la suppression des zones de combustion à haute température (> 2200K) favorisant la formation des NO_x. Pour cela de nouveaux types de système d'injection ont émergé (LP : Lean Premixed, LPP : Lean Premixed Prevaporized, Injection Multi-point, RQL : Rich Burn-Quick Mix/quench-Lean Burn). Ces nouvelles architectures d'injecteurs procurent généralement un mouvement rotatif (Swirl) à l'air entrant dans la chambre de combustion. L'utilisation de cet écoulement swirlé permet une diminution de la longueur de la flamme, améliorant ainsi la compacité de la chambre de combustion. Cependant l'utilisation de ce mode de combustion soulève de nouvelles problématiques en termes de limite d'extinction de la flamme, d'allumage/ rallumage de la chambre de combustion et de stabilité thermo-acoustique.

L'objectif scientifique du projet, mené dans le cadre d'une collaboration SAFRAN AE et l'Institut PPRIME, est l'amélioration de la pulvérisation et de la combustion à l'aide de champs électriques intenses. Les travaux précédemment réalisés sur l'électro atomisation des liquides permettent d'envisager plusieurs modes d'action. Les travaux réalisés sur film de gasoil à l'institut PPRIME par Daaboul [1] et Priol [2][3] ou sur des jets axisymétriques de carburant par Shrimpton [4][5] ont prouvé que l'utilisation d'un champ électrique permet de contrôler la fréquence et l'amplitude des instabilités primaires et donc d'agir sur la granulométrie et la dispersion du brouillard de gouttes.

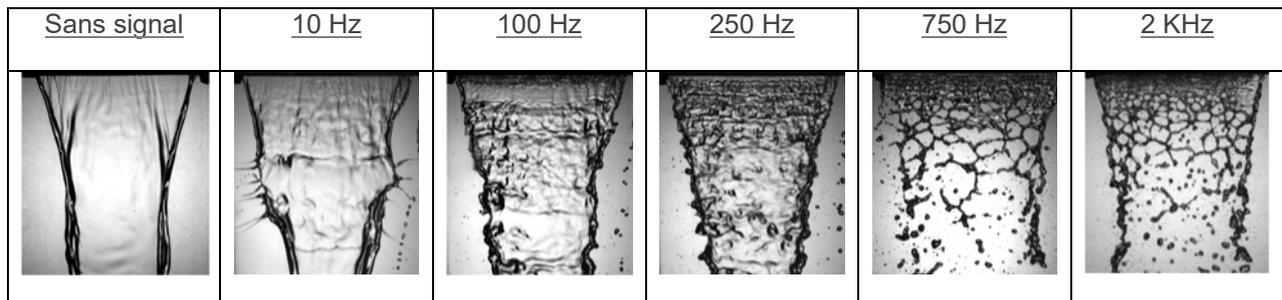


Fig. 1 : Evolution du film liquide en fonction de la fréquence du potentiel imposé

L'utilisation de dispositifs électriques permet également de produire des gouttes électriquement chargées. Les études sur le comportement des gouttes chargées montrent d'une part que la répulsion coulombienne des gouttes entre elles permet, dans certaines conditions, de doubler l'angle de spray d'un jet, pouvant ainsi permettre une amélioration du mélange. La présence des charges concentrées à la surface des gouttes permet également de favoriser l'atomisation secondaire de celles-ci. En effet, cette accumulation de charges électriques sur la surface des gouttes crée une pression électrostatique qui s'oppose à la tension superficielle. Lord Rayleigh [5] avait même calculé qu'au-delà d'une charge limite, toute goutte explose sous l'effet de la pression électrique. En pratique, cette limite n'est jamais atteinte car la paroi d'une goutte chargée est fragilisée par la présence des charges, et la dislocation des gouttes chargées se produit à un Weber bien plus faible que celui des gouttes neutres.[6][7][8]

La présence de charges électriques peut également avoir une influence lors de la combustion. En effet, les hautes températures favorisent une diminution rapide du diamètre des gouttes par évaporation en environnement réactif. La masse totale de la goutte diminue, en revanche la charge électrique a tendance à se maintenir, accroissant considérablement la pression électrostatique, qui peut ainsi favoriser l'atomisation secondaire. Les travaux réalisés par Shrimpton montrent que la présence de gouttes chargées permet également de stabiliser la flamme [5].

La mise en œuvre de l'atomisation par jets électrisés constitue une évolution innovante par rapport aux injecteurs actuels, où l'atomisation y est générée uniquement par cisaillement avec le flux d'air swirlé.

La thèse de doctorat s'attachera à l'étude des premières briques élémentaires de la physique impliquée et comportera deux volets. Le premier sera dédié à l'étude de l'injection de charges électriques dans un fluide réactif de type kérosène, le second sera quant à lui consacré à l'effet

de l'injection de charges sur l'atomisation secondaire et la combustion. Ainsi, en s'appuyant sur une étude bibliographique préalable et les compétences développées par l'équipe de l'institut PPRIME, les points suivants seront donc traités dans cet objectif :

Partie I : Optimisation de l'injection de charges

- Détermination des seuils d'injection de charges mini et maximum en fonction des propriétés du fluide
- Impact des propriétés des carburants (nature, température) sur l'injection de charges
- Mode optimum d'injection de charge (Géométrie/Polarisation/DC/AC/Pulse)
- Impact du débit fluidique sur l'injection de charge

Partie II : Effet de l'injection de charges sur l'atomisation secondaire et la combustion en milieu au repos.

- Effet de l'évaporation sur une goutte chargée. Limites d'atomisation secondaire
- Interaction d'une goutte chargée avec un front de flamme
- Impact de l'injection de charge sur l'atomisation dans une configuration de jet liquide ou de nappe liquide

Il s'agira donc pour le candidat retenu de mettre en place ces méthodologies de caractérisation de processus élémentaires en :

- 1) s'appuyant sur la littérature récente
- 2) s'appuyant sur les montages élémentaires déjà existants au laboratoire (détermination de la conductivité et permittivité, détermination des tensions de claquage, seuil d'injection de charge d'un liquide,...)
- 3) en développant les montages nécessaires non existant mais relativement simple et bien explicités dans la littérature pour (1) la génération d'une goutte isolée, (2) la détermination de la charge d'une goutte isolée, (3) mise en place du montage interaction flamme-goutte chargée à pression ambiante.

Références :

- [1] Daaboul M., Etude et développement d'actionneurs électrohydrodynamiques pour le contrôle des écoulements. Application à l'atomisation des nappes liquides, Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, 3 novembre 2009. (2009)
- [2] Priol L., Louste C., Romat H., Experimental study of a dielectric barrier injection in Diesel oil. Measurements of liquid velocity by LDV, ESA/IEEE Electrostatics Joint Conference, pp.95–102, 2006.
- [3] Priol L., Etude des jets électrisés .Application aux procédés électriques de déstabilisation des jets de gasoil à grandes vitesses, Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, 12 septembre 2006.
- [4] Shrimpton, J.S., Rigit, A. Spray characteristics of charge injection atomizers with small orifice diameters Atomization and sprays 16(4) 421-442 (2006)

- [5] Shrimpton J.S., Yule A. J., Atomisation, combustion and control of charged hydrocarbon sprays, 11, 1-32 (2001)
- [6] Lord Rayleigh, « On the equilibrium of liquid conducting masses charged with electricity », Philosophy Magazine 14, 184-186 (1882)
- [7] Cerkanowicz A. E., Rayleigh limit for non stationary drops, Proc. IEEE-IAS Conference record pp 1161-1165, 1981
- [8] Pilch M., Erdman C.A., Use of the breakup time data and velocity history data to predict the maximum size of stable fragments for acceleration induced breakup of a liquid drop, International Journal of Multiphase Flow, Vol. 13, pp.741–757, 1987.
- [9] Huo Y.P., Wang J.F., Zuo Z.W., Wang Z.T, Effect of Charge on aerodynamic Breakup of Charged Water Droplet, The 12th International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, September 2-6, 2012,