

Invitation à la soutenance de thèse

ANALYSE D'IMAGES EXPERIMENTALES PAR APPRENTISSAGE PROFOND POUR LA CARACTERISATION DE LA COMBUSTION DE L'ALUMINIUM EN PROPULSION SOLIDE

Magdeleine AIRIAU

Date : 08/10/2024 à 14h00

Lieu : Laboratoire de Recherche en Informatique, Université Paris Saclay
Bât. Digitéo 660 - Amphi Shannon, rue René Thom, 91190 Gif-sur-Yvette

Devant le jury composé de :

M. Léo Courty	Université d'Orléans	Rapporteur
M. Benjamin Pannetier	CS Group	Rapporteur
Mme Catherine Achard	Sorbonne Université	Examinatrice
M. Fabien Halter	Université d'Orléans	Examineur
M. Adrien Chan-Hon-Tong	DTIS, ONERA	Directeur de thèse
M. Robin Devillers	DMPE, ONERA	Co-directeur de thèse
M. Achraf Dyani	CNES	Invité

Résumé

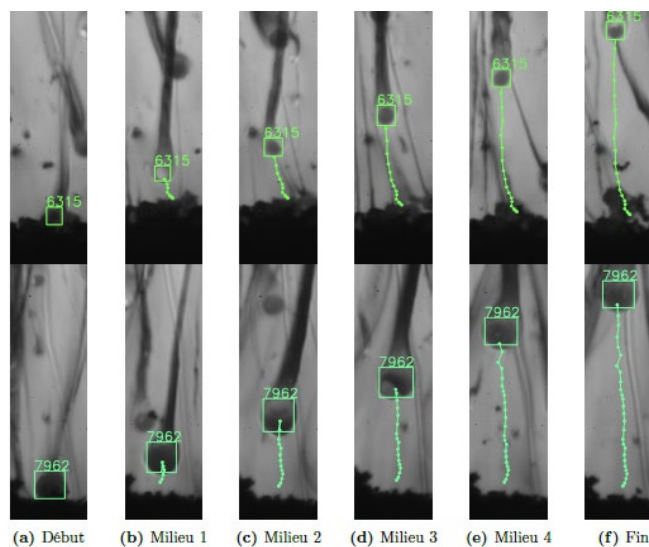
L'aluminium est ajouté à la composition du propergol solide afin d'augmenter les performances propulsives d'environ 10%, mais peut aussi entraîner des phénomènes néfastes tels que des instabilités thermo-acoustiques conduisant à des oscillations de pression. La caractérisation de l'aluminium en combustion au-dessus de la surface du propergol est donc essentielle pour étudier la stabilité d'un moteur fusée. De nombreux travaux de recherche ont été réalisés pour prédire ces instabilités par le calcul. Cependant, ces modèles numériques manquent de données d'entrées précises, telles que la taille des gouttes d'aluminium et leur vitesse initiale. Ces données sont particulièrement compliquées à obtenir expérimentalement, compte tenues des conditions de combustion (haute pression, haute température). Il y a de plus une forte sensibilité des simulations aux données d'entrée, induisant un besoin de mieux connaître les incertitudes sur les tailles et les vitesses estimées. Des essais sont réalisés depuis des années à l'ONERA en ombroscopie permettant de visualiser des échantillons de propergol en combustion montrant les gouttes d'aluminium, et cela à haute cadence. Les images obtenues sont riches en informations du fait des nombreux objets en mouvement dans l'écoulement gazeux. Étant donné la complexité de ces images, plusieurs méthodes d'analyse ont été proposées ces dernières années, et dans la thèse de M. Nugue, une approche à partir de réseaux de neurones par apprentissage profond a été utilisée pour la première fois.

La présente étude porte sur le développement d'outils, notamment par deep learning, pour analyser les images expérimentales issues du montage d'ombroscopie et ainsi obtenir en grand nombre des données telles que les diamètres et les vitesses des gouttes d'aluminium.

Une première partie confronte deux méthodes de l'état de l'art pour la sélection automatique d'objets dans une image : la segmentation sémantique avec le réseau U-Net et la segmentation d'instance avec le réseau Mask R-CNN. La supériorité de ce dernier est alors démontrée, avec une détection plus efficace et des résultats plus proches de la taille réelle des gouttes. Cette partie met cependant en lumière que les réseaux de neurones actuels ne prennent pas bien en compte la répartition des tailles des gouttes, un point crucial pour cette thèse. Pour obtenir un compromis efficace entre une détection de qualité et une représentation précise des distributions de diamètre, une deuxième partie introduit une méthode de stabilisation de la distribution de taille des gouttes d'aluminium détectées. Ce réseau, fonctionnant avec une fonction de perte modifiée, équilibre mieux les détections des grandes et petites gouttes dans le but d'obtenir une représentation plus juste de la population des gouttes.

Une méthode de suivi des gouttes, utilisant le tracking multi-objets et un filtre de Kalman, est développée. Les trajectoires de gouttes sont ensuite rigoureusement triées, permettant d'en extraire de nombreuses trajectoires fiables (de 500 à 1500 par essai).

Enfin, une dernière partie analyse les données de vitesse et de diamètre des gouttes, obtenues par la chaîne de détection et de suivi, pour des pressions de 6.8 à 26.6 bar, regroupant plus de 6000 trajectoires fiables. Les résultats montrent une faible dépendance de la vitesse initiale des gouttes à la pression, contrairement au diamètre qui est plus impacté. Une simulation numérique 1D de combustion utilisant ces données détaillées permet une estimation plus précise de la localisation du dégagement de chaleur des gouttes, par rapport à une simulation utilisant un seul diamètre caractéristique. Ce travail démontre l'efficacité de l'apprentissage profond pour l'analyse d'images expérimentales et son utilité pour l'application en propulsion solide.



Comparaison entre trajectoires de gouttes fournies par la chaîne complète de traitement

Mots clés

Mécanique des fluides, propulsion solide, combustion, aluminium, IA, deep learning, suivi d'objets