

Outils pour l'étude conjointe par simulation et traitement d'images expérimentales de la combustion de particules d'aluminium utilisées dans les propergols solides

Matthieu Nogue : doctorant ONERA-CNES, Département Multi-Physique pour l'Energétique (matthieu.nogue@onera.fr)
 Guy Le Besnerais : directeur de thèse ONERA, Département Traitement de l'Information et Systèmes (guy.le_besnerais@onera.fr)
 Robin Devillers : encadrant ONERA, Département Multi-Physique pour l'Energétique (robin.devillers@onera.fr)
 Julien Pichillou : correspondant CNES, Direction des Lanceurs (julien.pichillou@cnes.fr)

Problématique

Propergol solide

- Utilisé dans les moteurs-fusées (propulsion spatiale et militaire)
- Contient des particules d'aluminium pour augmenter les performances mais celles-ci peuvent générer des instabilités [1] dommageable pour la charge utile

Prédiction de la stabilité du moteur

- Par simulation numérique (CFD) et démonstrateurs à différentes échelles
- Besoin de connaître les caractéristiques des gouttes d'aluminium en combustion dans l'écoulement proche de la surface du propergol (taille et vitesse)
- Montage expérimental d'ombroscopie à l'ONERA [2] permettant de visualiser les gouttes d'aluminium en combustion proche de la surface

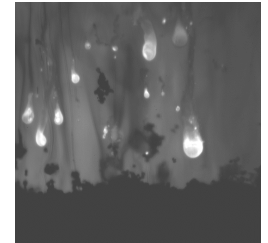
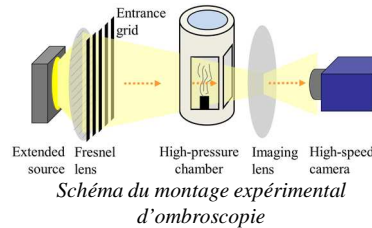


Image expérimentale de la surface en combustion d'un propergol aluminisé

➔ Analyses quantitatives d'images expérimentales

Analyse des propergols à particules inertes

Propergols avec particules inertes

- Propergols composites (PBHT + PA) avec des particules inertes à la place de l'aluminium
- Images simples pour validation

Détection des particules

- Utilisation d'une méthode extraite de la littérature [3]
- Performance : précision > 80 % et rappel > 90 %

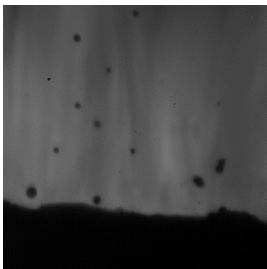
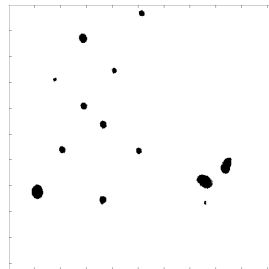


Image expérimentale d'un cas inerte pour validation



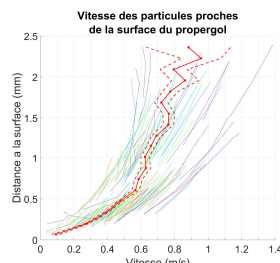
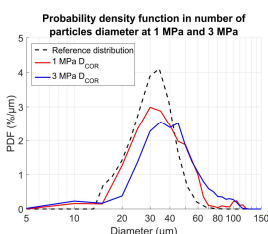
Résultat de la détection des particules

Mesure de la taille

- Diamètre du disque équivalent à l'aire détectée
- Correction de la taille mesurée des particules hors du plan de focalisation [4]

Mesure de la vitesse

- Algorithme de suivi développé à l'ONERA, reposant sur les travaux de [5]



➔ Premiers résultats présentés à Space Propulsion 2016 [6]
 Article de journal en cours de rédaction

Bibliographie

- [1] S. Gallier and F. Godfroy JPP, vol. 25(2), 2009.
- [2] R. W. Devillers *et al.* 14th CFTL, Marseille, 2014.
- [3] J. Matas *et al.* BMVC, 2002.
- [4] N. Fdida and J. B. Blaisot MST, vol. 21(2), 2010.
- [5] S. S. Blackman IEEE Aero El Sys Mag, vol. 19(1), 2004.
- [6] M. Nogue *et al.* Space Propulsion, 2016.
- [7] K. Simonyan and A. Zisserman ICLR, 2015.
- [8] M. Nogue *et al.* 16th GRETSI, 2017.

Classification des images avec particules d'aluminium en combustion

Classification des objets

- Utilisation de réseaux de neurones profonds pour la classification pixel à pixel
- Classification SVM sur les sorties de 2 couches d'un réseau VGG16 [7]

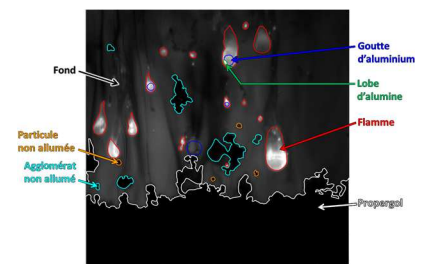
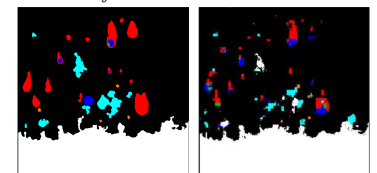


Image expérimentale et classes annotées manuellement

Résultats

- Résultats meilleurs ou équivalents aux méthodes précédentes
- Capacité à distinguer un nombre de classes plus important (ex : goutte en combustion à la base d'une flamme)
- Reste des confusions entre classes (propergol/agglomérat) et des imprécisions de segmentation

Comparaison entre la méthode de classification et la vérité terrain



Vérité terrain

Méthode de classification

➔ Résultats présentés au GRETSI 2017 [8]

Perspectives

Analyse des images de propergols à particules inertes

- Travaux de classification à consolider pour différencier les agrégats des particules isolées

Analyse des images de propergols aluminisés

- Mise en place d'une méthode d'apprentissage profond plus performante (fine tuning) avec des réseaux de neurones tels que SegNet et U-Net
- Exploitation de la classification pour évaluer les statistiques utiles à la simulation

Simulations numériques diphasiques

- Utilisation des statistiques obtenues par analyse d'images comme données d'entrée des simulations numériques
- Evaluation de cet apport par comparaison expérimentale/numérique (ex : profils de la mise en vitesse des particules)