

# Thèse

## Combustion et performance d'ergols liquides hypergoliques

**Encadrants :** Bastien BOUST, Marc BELLENOUE

@ : [bastien.boust@ensma.fr](mailto:bastien.boust@ensma.fr) , [marc.bellenoue@ensma.fr](mailto:marc.bellenoue@ensma.fr)

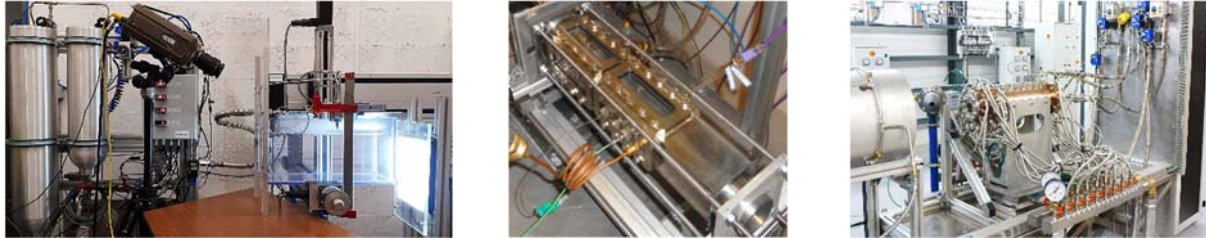
A l'horizon de la prochaine décennie, le développement des futures stations spatiales et les besoins en croissance de services en orbite rendent indispensable la disponibilité sur le marché de véhicules modulaires et réutilisables pour répondre notamment aux besoins de fret logistique. Pour répondre à ce besoin, The Exploration Company propose le développement de Nyx Earth, une capsule offrant la capacité de rendez-vous puis d'amarrage passif (berthing) ou actif (docking) aux stations. Pour cela le véhicule Nyx doit être équipé de systèmes propulsifs offrant une solution de propulsion non toxique remplaçant la filière hydrazine actuellement utilisée dans le domaine spatial. Le véhicule sera alors en mesure fournir de nouveaux services et usages en orbites tels que : cargo, ravitaillement, extension de vie des véhicules, stations et satellites en orbite, ...

Pour cela, l'identification de nouveaux couples d'ergols liquides stockables, verts pour l'environnement et la santé du fait de leur faible toxicité, est primordiale. L'utilisation de ces ergols requiert une maîtrise de la combustion dans ces conditions particulières. Cela suppose une nouvelle définition des systèmes d'injection pour l'allumage, et nécessite l'étude des processus physiques impliqués lors de ces phases critiques mais également lors de la phase stabilisée de la combustion.

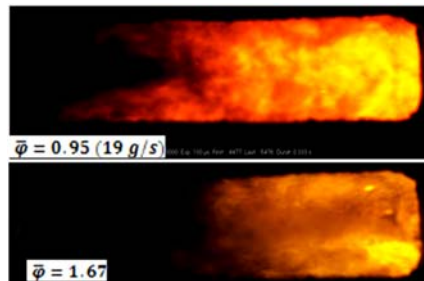
Aujourd'hui, dans le cadre de France 2030, The Exploration Company, l'ISAE-ENSMA et l'Institut PPRIME sont associés pour poursuivre la mise en œuvre de ces ergols verts et souhaitent approfondir l'étude de ces phénomènes fondamentaux dans des conditions proches de l'application, notamment en ce qui concerne l'allumage et en particulier l'hypergolicité des ergols. En effet, historiquement, afin de s'affranchir de l'utilisation d'un système d'allumage complexe et encombrant, le choix de l'hydrazine comme ergol pour la propulsion spatiale a été retenu du fait de ses caractéristiques hypergoliques. Les ergols verts étudiés aujourd'hui, présentent des caractéristiques différentes qui imposent des systèmes d'injection adaptés. Les plus favorables à l'environnement ne présentent pas d'ailleurs de capacités d'allumage hypergolique et doivent être additivés. Aussi le degré d'hypergolicité (délais d'allumage) pour ces nouveaux couples d'ergols est mal connu et les conséquences de ces capacités spécifiques sur la combustion d'un spray reste inconnues. En effet si les délais d'allumage des ergols hypergoliques sont très courts (respectivement longs), la réaction chimique peut être déclenchée avant même que l'atomisation optimum n'ait eu lieu (respectivement après). Aussi la combustion et la stabilisation de celle-ci est fortement dépendante des échelles de temps entre vitesse d'impact à l'injection, mélange et dégagement de chaleur, ainsi que de leur localisation spatiale.

L'étude de ces phénoménologies est au cœur de la thèse proposée ici qui sera menée à l'aide d'une approche expérimentale.

L'ensemble de ces travaux viendront compléter les études expérimentales actuellement menées par PPRIME qui assurera la disponibilité des installations expérimentales du laboratoire mises en place pour les études d'injection, d'allumage et de combustion d'ergols liquides stockables (Bancs AILEFS, ACSEL et PERGOLA, cf. Fig. 1) à l'aide de diagnostics physiques résolus (thermodynamiques, propulsifs, optiques, cf. Fig. 2).



**Fig 1 :** Bancs d'essais AILEFS, ACSEL et PERGOLA



**Fig 2 :** Visualisation de la combustion stabilisée dans le montage ACSEL

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

**Rémunération :** ~ 2440 € brut / mois

### Références :

- [1] B. Boust, Q. Michalski, A. Claverie, C. Indiana and M. Bellenoue. Characterization of liquid impinging jet injector sprays for bi-propellant space propulsion. *28th European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, ILASS 2017, Valencia, 2017.*
- [2] C. Indiana. Caractérisation expérimentale de la pulvérisation, de l'allumage et de la combustion de bi-ergols. Application à la propulsion spatiale par ergols stockables. *Doctoral dissertation, 2016.*
- [3] C. Indiana, B. Boust, M. Bellenoue and S. Petitot. Experimental Combustion Investigations from Like-Impingement Sprays of Green Propellants. *AIAA Propulsion and Energy Forum and Exposition 2016, Joint Propulsion Conference, Salt Lake City, UTAH, 2016.*
- [4] C. Indiana, B. Boust and M. Bellenoue. Ignition of sprays from impinging jets of green propellants: ethyl alcohol and hydrogen peroxide. *7th European Combustion meeting, Budapest, Hungary, 2015.*
- [5] C. Indiana, M. Bellenoue and B. Boust. Experimental investigation of drop size distribution with impinging liquid jets using phase Doppler anemometer. *International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion, 10th International Symposium on Special Topics in Chemical Propulsion. Poitiers, 2014.*
- [6] Riaud N., Boust B. and Bellenoue M., " Effects of fuel properties on the combustion of storable bipropellants: alkanes, ethanol with hydrogen peroxide", *International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion*, DOI:10.1615/IntJEnergeticMaterialsChemProp.2019028347, Volume 18 (2), 2019, Pages 111-131.
- [7] Indiana C., Boust B, Azuma N. and Bellenoue M., " Effect of Injector Design on the Combustion of Ethanol and Hydrogen Peroxide Sprays ", *Journal of Propulsion and Power*, 2019, DOI: 10.2514/1.B37286, Vol. 35, N° 3, pp 652-661