

# Étude aéro-thermo-acoustique des jets chauds diphasiques

Pierre Beltra\*, Yves Gervais \*, Gildas Lalizel\*, Eva Dornnac, Florian Moreau et Patrick Berterretche

\*Doctorant / ISAE-ENSMA  
\*Directeur de Thèse / Université de Poitiers  
\*Co-encadrant / ISAE-ENSMA

## Présentation

- Lors du décollage de lanceurs, le bruit généré est suffisamment fort pour endommager le lanceur, sa charge utile ainsi que le pas de tir. Le pic d'énergie sonore est atteint lors des premières secondes du vol, lorsque les jets supersoniques issus des moteurs impactent le pas de tir.
- Il est donc nécessaire de **réduire le bruit lors des premières secondes du vol**. Pour ce faire, de l'eau est injectée, en grande quantité, dans les jets supersoniques depuis le pas de tir. L'injection d'eau (ou déluge) dans les flammes des moteurs est couramment employée mais **son fonctionnement reste mal connu**. Les conditions étant complexes et transverses : écoulement supersonique, chaud, diphasique...

→ L'objectif de la thèse est d'améliorer la compréhension des phénomènes physiques liés à la réduction sonore par injection d'eau. Pour ce faire:

- Des essais acoustiques sur les effets de l'eau sont menés.
- Le développement d'une nouvelle méthode de mesure est entrepris pour observer l'intérieur de jets supersoniques soumis à une injection d'eau.



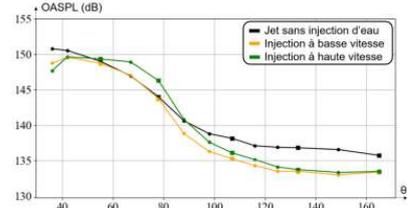
Décollage du vol inaugural d'Ariane 6 à T-2s (gauche) et T+2s (droite)  
Pas de tir au repos à gauche et interaction du déluge avec le lanceur à droite

## Etudes acoustiques

Pour étudier les effets acoustiques de l'injection d'eau, des expériences ont été réalisées sur le **banc MARTEL** (Moyen Aéroacoustique de Recherche & Technologie sur l'Environnement des Lanceurs). Elles consistent à générer un jet supersonique chaud par **combustion d'hydrogène et d'air comprimé**, dans une chambre semi-anéchoïque, et à injecter de grandes quantités d'eau (jusqu'à 2 l/s) dans ce jet.

Configuration	Mach	Température totale (K)
Jet de laboratoire	1,5	500
Jet MARTEL	3	1700
Moteur fusée	5	3500

- Pour simplifier l'étude, un jet libre, sans interaction avec le pas de tir est étudié.
- Des **microphones** sont placés sur 4 antennes à 1,5 m de la sortie du jet.
- Différents paramètres d'injection** sont étudiés pour tenter de déterminer les meilleures conditions représentatives du phénomène pour la deuxième phase de la thèse (voir à droite) et connaître les **paramètres les plus décisifs**.
- Par exemple, la vitesse d'injection de l'eau peut avoir un effet néfaste vers l'aval du jet, du fait de l'importance du bruit d'impact entre l'eau et le jet.



Effet de l'injection d'eau sur le bruit de jet

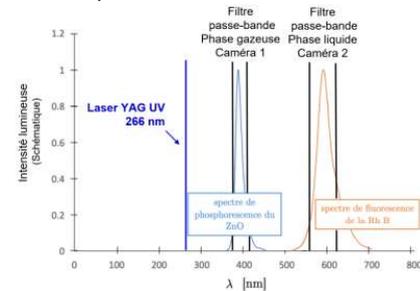


Banc MARTEL

Vue rapprochée de la sortie de la tuyère de MARTEL avec une injection d'eau par 8 buses

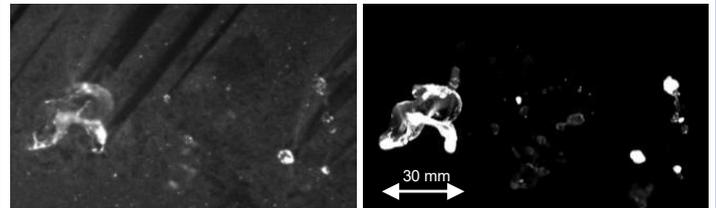
## Développement métrologie diphasique

- Pour comprendre les effets de l'injection d'eau, il est nécessaire de connaître les paramètres aérodynamiques du jet en aval de l'injection d'eau. La difficulté est de mesurer les paramètres des deux phases (gazeuse et liquide) indépendamment.
- Il est nécessaire de mettre au point une nouvelle technique de mesure pour observer l'intérieur du jet: une nouvelle métrologie diphasique est développée sur le **banc BATH** (Banc AéroThermique): un laser double pulse à **266 nm** excite deux traceurs : de l'oxyde de zinc (**ZnO**), dans l'air, dont le rayonnement de **phosphorescence** est centré **sur 400 nm** et de la Rhodamine B (**Rh B**) dans l'eau, qui **fluoresce vers 590 nm**.
- Cette technique permet également de s'affranchir des réflexions du laser sur les gouttes d'eau susceptibles endommager les caméras.
- Des mesures de PIV peuvent alors être effectuées sur chaque phase séparément.



Représentation spectrale de la nouvelle technique de mesure

- Les premiers essais réalisés ont mis en lumière une mauvaise séparation des phases : les gouttes d'eau sont visibles sur l'image dédiée à la visualisation du ZnO. Il est possible que le ZnO pénètre dans les gouttes et les rende visibles à travers le filtre ZnO.



Exemple d'image de la caméra 1 - Visualisation de la phase gazeuse (ZnO) et des gouttes (non prévue)

Exemple d'image de la caméra 2 - Visualisation de la phase liquide (Rh B)

## CONCLUSIONS

- Les essais réalisés en première année sur MARTEL ont permis d'acquérir une meilleure compréhension de l'influence de la température, du débit d'eau, de la vitesse d'injection et de la hauteur d'injection sur l'émission acoustique issue de l'interaction d'un jet supersonique et une injection d'eau.
- Les essais sur la nouvelle méthode de diagnostic des deux phases ont mis en lumière une séparation des phases imparfaite. Il est nécessaire de développer des solutions matérielles ou logicielles (suppression des gouttes sur l'image de ZnO à l'aide des informations de l'image Rh B) avant d'appliquer cette méthode sur MARTEL pour mesurer les effets aérodynamiques d'une injection d'eau sur la dynamique d'un écoulement chaud et sur son émission acoustique.

### CONTACT :

[pierre.beltra@ensma.fr](mailto:pierre.beltra@ensma.fr)  
[yves.gervais@univ-poitiers.fr](mailto:yves.gervais@univ-poitiers.fr)  
[gildas.lalizel@ensma.fr](mailto:gildas.lalizel@ensma.fr)

Cette thèse est cofinancée par la Région Aquitaine et le CNES