

# PROJET FERMAT - Thème Microfluidique & Microréacteurs

**Titre du projet : Transferts thermiques localement renforcés à l'aide de micro-oscillateurs fluidiques**

**Laboratoires concernés : Institut Clément Ader (ICA) – Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT) - Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS)**

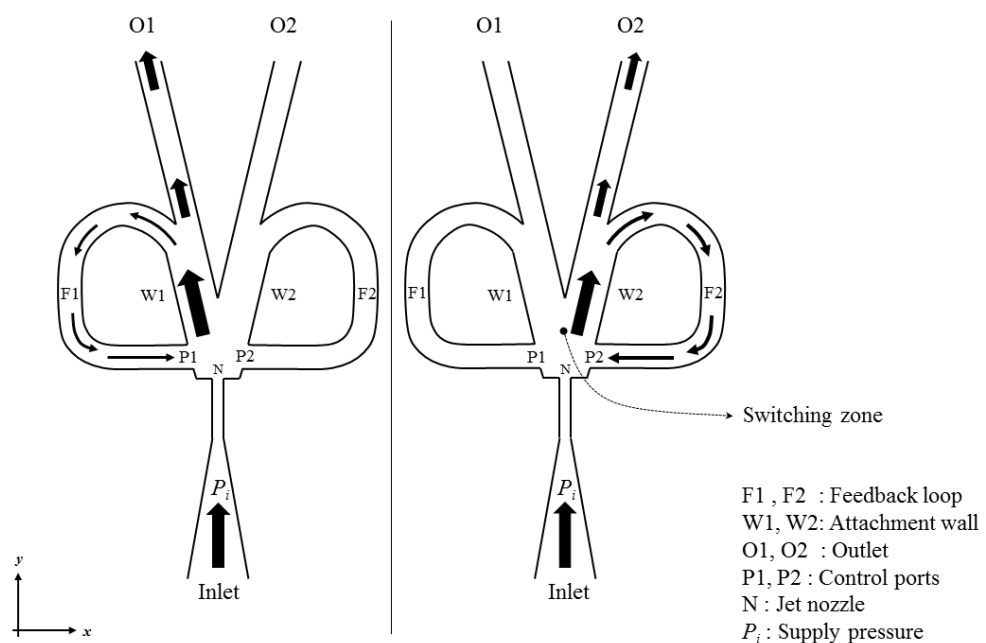
**Responsable : Lucien Baldas**

**Contact: baldas@insa-toulouse.fr**

**Participants : Ahmad Batikh (ICA), Christine Barrot-Lattes (ICA), Marcos Rojas Cardenas (ICA), Stéphane Colin (ICA), Rémi Gilblas (ICA), Yannick Le Maout (ICA), Romain Mathis (IMFT), David Lo Jacono (IMFT), Vincent Raimbault (LAAS), Thierry Camps (LAAS)**

## Résumé

Compte tenu de la réduction constante de l'encombrement des composants électroniques de puissance embarqués, il apparaît intéressant d'utiliser pour leur refroidissement des micro-jets pulsés impactants, qui génèrent une convection instationnaire à l'efficacité accrue. Pour la génération de ce type de jets, les oscillateurs fluidiques sont des candidats intéressants par la large gamme de fréquences qu'ils sont capables de couvrir et pour leur robustesse due à l'absence de pièces mobiles. Leur principe de fonctionnement est illustré sur la Fig. 1: le jet généré par une buse (N) alimentée par un fluide sous pression s'attache, par effet Coanda, à la paroi d'une branche de l'oscillateur (W1/W2). Une partie de l'écoulement recircule dans la boucle de retour (F1/F2) et provoque le basculement du jet dans l'autre branche. Les 2 jets pulsés alternatifs (O1/O2) permettent une convection localement très énergétique et autorisent un refroidissement efficace du composant placé en regard.



# PROJET FERMAT - Thème Microfluidique & Microréacteurs

Figure 1: Principe de fonctionnement d'un oscillateur fluide [Wang et al. 2019]

L'objectif de ce projet est donc de caractériser le fonctionnement et les performances, notamment en terme de dissipation thermique, de micro-oscillateurs fluidiques générant des jets pulsés impactant une paroi chauffée.

## Matériel utilisé

- Anémomètres fil chaud TSI
- Caméra Infrarouge FLIR SC325
- Ressources du centre de calcul intensif CALMIP

## Contexte - Applications visées

Dans le domaine des transports, avec l'augmentation de la puissance électrique embarquée, les dispositifs d'électronique de puissance se voient confrontés à une réduction de poids, d'encombrement et de coût. Tous ces composants électroniques, et la structure dans laquelle ils sont insérés, ont des performances dégradées en dehors de certaines limites de température. Une dissipation thermique efficace est donc primordiale. Dans ce projet, il s'agira donc d'évaluer le transfert de chaleur par micro-jets pulsés impactants produits par des micro-oscillateurs fluidiques. Par une étude expérimentale originale corrélée à des modèles numériques spécifiques à développer, l'objectif principal sera de comprendre l'effet de la miniaturisation sur la physique de l'écoulement généré ainsi que l'influence des différentes grandeurs caractéristiques sur les transferts thermiques jet/surface impactée, en vue de leur optimisation ouvrant ainsi la voie vers des dispositifs plus complexes constitués de réseaux de micro-jets.

## Principaux résultats

Les récents travaux de thèse de Georges Saliba, menés à l'ICA, ont permis :

- à macro-échelle, d'étudier la physique des écoulements et de dégager les paramètres influents : la distance entre l'actionneur et la surface à refroidir, la fréquence de pulsation et la vitesse du jet généré.
- à micro-échelle, de développer, en partenariat avec le LAAS, des micro-oscillateurs obtenus par un procédé de microfabrication par lamination de films secs, intégrant des capteurs thermiques en polysilicium suspendus dans le but de réduire leur inertie thermique et d'améliorer fortement leurs caractéristiques dynamiques.

Des premiers prototypes micrométriques ont ainsi été obtenus et sont en cours de qualification. Des micro-capteurs thermiques ont aussi été intégrés sur une plaque d'impact. L'analyse expérimentale des échanges thermiques entre la plaque instrumentée et les micro-jets d'impact pulsés produits par des micro-oscillateurs fluidiques pourra ensuite être menée à l'aide des micro-capteurs thermiques intégrés et par thermographie infra-rouge.

## PROJET FERMAT - Thème Microfluidique & Microréacteurs

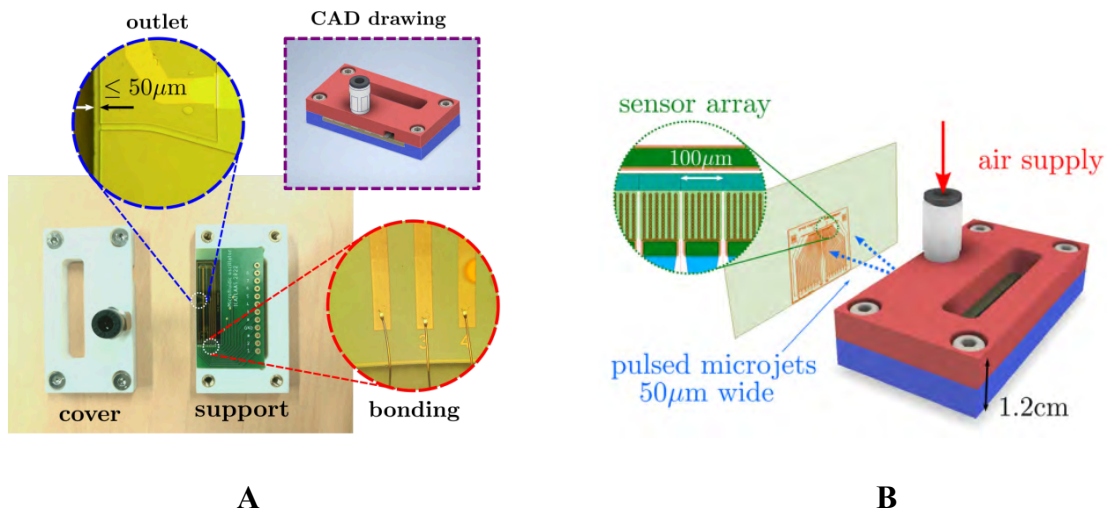


Figure 2: A) Micro-oscillateur fluidique instrumenté, B) CAO de l'ensemble micro-oscillateur fluidique/plaque instrumentés

### Verrous identifiés – Perspectives

**La littérature est quasi vierge sur les micro-jets pulsés** et leurs capacités en termes de transferts thermiques, bien que les phénomènes physiques en jeu y soient particulièrement riches. Lorsqu'on diminue les dimensions caractéristiques d'un système, deux phénomènes principaux apparaissent : la turbulence des écoulements en son sein diminue car les effets visqueux prennent davantage d'importance et la raréfaction augmente car le libre parcours moyen des molécules devient non négligeable vis-à-vis des dimensions internes. Cette raréfaction conduit à un déficit de collisions intermoléculaires se traduisant par un déséquilibre thermodynamique, particulièrement marqué à proximité des parois, dans une fine couche dite couche de Knudsen. On y observe un saut de vitesse et de température qui peut fortement impacter le transfert thermique convectif, les deux sauts jouant par ailleurs un rôle antagoniste. La littérature est maintenant riche sur les régimes d'écoulements internes raréfiés, mais uniquement en régime permanent et souffre de nombreux manques sur les écoulements instationnaires, particulièrement lorsqu'ils sont anisothermes. Aussi, comprendre et maîtriser l'évolution des mécanismes physiques locaux instationnaires lors du passage d'une échelle macroscopique à une échelle microscopique est primordial pour optimiser les transferts thermiques que l'on souhaite contrôler dans ce projet.

### Production scientifique

- Georges Saliba, Thierry Camps, Vincent Raimbault, Lucien Baldas. Fabrication of high-frequency microfluidic oscillators with integrated thermal instrumentation. Sensors and Actuators A: Physical, 2024, 365, pp.114844. (10.1016/j.sna.2023.114844). (hal-04317919)
- Georges Saliba, Ahmad Batikh, Stéphane Colin, Lucien Baldas. Pulsed impinging jets for heat transfer: a short review. ASME Journal of Heat and Mass Transfer, 2023, 145 (11), 110801 (32 p.). (10.1115/1.4062757). (hal-04132230)

## PROJET FERMAT - Thème Microfluidique & Microréacteurs

- Georges Saliba, Vincent Raimbault, Ahmad Batikh, Stéphane Colin, Lucien Baldas. Relaxation fluidic oscillators: design parameters, new operating modes and characteristics of their internal and external flows. *Journal of Fluids Engineering*, 2023, 145 (10), 101202 (16 p.). (10.1115/1.4062472). (hal-04091014)
- Georges Saliba, Etude et développement de micro-oscillateurs fluidiques pour le refroidissement de systèmes électroniques embarqués, thèse en Dynamique des fluides, UT3: Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 2022.
- Georges Saliba, Vincent Raimbault, Stéphane Colin, Ahmad Batikh, Stéphane Orioux, Stéphane Colin and Yannick LeMaout, Jet impingement cooling using fluidic oscillators: an experimental study. EURO THERM 2021 - 8th European Thermal Sciences Conference, Sep 2021, Lisbon (virtual), Portugal. pp.012028, (10.1088/1742-6596/2116/1/012028). (hal-03474994)
- Georges Saliba, Thierry Camps, Vincent Raimbault, Lucien Baldas, "Air-fed microfluidic oscillators for cooling applications", *Journées du GDR Micro Nanofluidique*, Toulouse, 22-23 septembre, 2021.
- Georges Saliba, Lucien Baldas, Vincent Raimbault, Ahmad Batikh, Rémi Gilblas, et al.. Study and development of fluidic oscillators for heat removal. istegim2019 - Proceedings of the International Symposium on Thermal Effects in Gas flows In Microscale, Oct 2019, Ettlingen, Germany. pp.1-6. (hal-02420238)