



# Optimisation multi-objectifs pour l'aérodynamique et l'aéroacoustique de l'entrée d'air d'un réacteur d'avion

## 1 Sujet de thèse

La thèse adresse la problématique de l'optimisation multi-objectifs de performances d'entrée d'air de réacteurs d'avion. Une méthodologie sera élaborée afin de pouvoir définir simultanément les géométries et les distributions d'impédance de liner optimales, permettant de déterminer les meilleurs compromis entre performances aérodynamiques (indice de distortion minimale, rendement maximal) et acoustiques (efficacité acoustique minimale, atténuation des modes de conduite les plus critiques, manipulation de la directivité).

La méthodologie s'appuiera sur une approche d'optimisation de forme via la méthode adjointe qui sera ici appliquée au système couplé d'équations pilotant à la fois le comportement aérodynamique moyen et la réponse acoustique dominante. Les champs aérodynamiques seront modélisés en priorité par approche RANS (*Reynolds-Averaged Navier-Stokes*) et/ou URANS (*Unsteady RANS*) en régime compressible. La partie aéroacoustique sera modélisée via les équations de Navier-Stokes linéarisées, en formulation dit *resolvent* [1, 2, 3, 4, 12, 13] : à partir d'un champ moyen d'écoulement (RANS), cette dernière approche permet une estimation globale de l'efficacité acoustique du système, de la répartition des sources, de la propagation dans la partie interne, et de la directivité dans le champ acoustique externe.

La méthodologie sera développée et validée dans un premier temps en configuration canonique (axisymétrique, avec représentation simplifiée de la présence du fan). Des campagnes de simulations haute-fidélité et validations expérimentales pourront être envisagées pour les configurations optimisées en géométrie simplifiée en fonction des moyens d'accompagnement alloués au projet. Suivant la phase de validation, la méthodologie pourra ensuite être adaptée pour être appliquée à des configurations 3D plus représentatives des entrées d'air de moteur réelles.

## 2 Compétences 2AT

L'équipe 2AT (Aérodynamique, Acoustique, Turbulence) dispose d'un ensemble de compétences particulièrement bien adapté à ce problème : en modélisation et simulation de l'aérodynamique compressible [5, 6, 7, 8] ; en modélisation et simulation des écoulements en présence de liners [9, 10] ; en

modélisation linéaire pour l'aéroacoustique [1, 2, 3, 4, 11]; et, enfin, en développement des outils d'optimisation, d'estimation et de contrôle [12, 13, 16, 17].

L'équipe a également une longue histoire de collaboration avec des partenaires industriels; notamment avec Safran [18, 19] et Airbus [20, 21], et compte 8 brevets partagés avec le secteur aéronautique (1 avec Safran, 7 avec Airbus).

## Références

- [1] Cavalieri, A.V.G., **Jordan**, P. & Lesshafft, L. (2019) *Wave-packet models for jet dynamics and sound radiation*. Applied Mechanics Reviews f71(2)
- [2] Bugeat, B., Karban, U., Agarwal, A., Lesshafft, L., **Jordan**, P. (2024) *Acoustic resolvent analysis of turbulent jets*. Theor. Compt. Fluid Dyn. Vol. 38
- [3] Karban, U., Bugeat, B., Towne, A., Lesshafft, L., Agarwal, A., **Jordan**, P., (2023) *An empirical model of noise sources in subsonic jets* Jnl. Fluid Mech. Vol. 919
- [4] Pickering, E., Towne, A., **Jordan**, P, Colonius, T. (2021) *Resolvent-based modelling of turbulent jet noise*. Jnl Acou. Soc. Am. Vol. 150.
- [5] Martini, E., Caillaud, C., **Lehnasch**, G., **Jordan**, P., Schmidt, O. (2024) *Perturbation amplification near the stagnation point of blunt bodies*. Theor. Comp. Fluid Dynamics, Vol. 38.
- [6] Bakulu, F., **Lehnasch**, G., Jaunet, V., Goncalves da Silva, E., Girard, S. (2021) *Jet resonance in truncated ideally contoured nozzles*. Jnl. Fluid Mech. Vol. 919 Jnl. Fluid Mech. Vol. 919
- [7] Shams, A., **Lehnasch**, G., Comte, P., Deniea, H., Alziary de Roquefort, T. (2013) *Unsteadiness in shock-induced separated flow with subsequent reattachment of supersonic annular jet*. Comp. & Fluids, Vol. 78
- [8] Shahab, M.F., **Lehnasch**, G., Gatski, T. (2017) *Streamwise relaxation of a shock perturbed turbulent boundary layer*. in "Whither Turbulence and Big Data in the 21st Century", Springer
- [9] **Marx**, D., Sebastien, Fortuné, V. (2024) *Simulation of instability and sound production in a turbulent channel flow with an acoustic liner*. Jnl. Sound Vib. Vol. 573
- [10] **Marx**, D. (2015) *Numerical Computation of a Lined Duct Instability Using the Linearized Euler Equations*. AIAA Jnl. Vol. 53(8)
- [11] **Jordan**, P. & Colonius, T. (2013) *Wave packets and turbulent jet noise*. Ann. Rev. Fluid Mech. Vol. 45
- [12] Martini, E., Jung, J., Cavalieri, A.V.G., **Jordan**, P., Towne, A. (2022) *Resolvent-based tools for optimal estimation and control via the Wiener-Hopf formalism*. Jnl. Fluid Mech. Vol. 937
- [13] Martini, E., Cavalieri, A.V.G, **Jordan**, P., Towne, A., Lesshafft, L. (2020) *Resolvent-based optimal estimation of transitional and turbulent flows*. Jnl. Fluid Mech. Vol. 900
- [14] Audiffred, D., Cavalieri, A.V.G., Maia, I.A., Martini, E., **Jordan**, P. (2024) *Reactive experimental control of turbulent jets*. Jnl. Fluid Mech. Vol. 994
- [15] Karban, U., Martini, E., **Jordan**, P. (2024) *Modeling Closed-Loop Control of Installed Jet Noise Using Ginzburg-Landau Equation*. Flow, Turb. & Comb. Vol. 113
- [16] Bonnet, V., Jaunet, V., **Lehnasch**, G., Razaaly, N. (2023) *Surrogate-based optimization of supersonic nozzle shape* 57th 3AF Int. Conf. Applied Aerodynamics, Bordeaux, France.
- [17] Razaaly, N., Pingault, I., Van der Laan, S., Mure D'Alexis, A., Chédin, A., Di Bari G., Germain, L., Jaunet, V. **Lehnasch**, G. (2024) *Towards multi-point surrogate-based optimization for automated nozzle design*. 58th 3AF Int. Conf. Applied Aerodynamics, Orléans, France.

- [18] Koenig, M., Sasaki, K., Cavalieri, A.V.G., **Jordan**, P., Gervais, Y. (2016) *Jet-noise control by fluidic injection from a rotating plug : linear and nonlinear sound-source mechanisms*. Jnl. Fluid Mech. Vol. 788
- [19] Maury, R., Koenig, M., Delville, J., Cattafesta, L., **Jordan**, P. (2012) *Extremum-Seeking Control of Jet Noise*. Int. Jnl. Aeroacou. Vol. 11
- [20] Huber, J., Pont, G., **Jordan**, P., Roger, M. (2024) *Wavepacket Modelling of Jet-Flap Interaction Noise : from Laboratory to Full-Scale Aircraft*. Theor. Compt. Fluid Dyn. Vol. 113
- [21] Piantanida, S., Jaunet, V., Huber, J., Wolf, W.R., **Jordan**, P., Cavalieri, A.V.G. (2016) *Scattering of turbulent-jet wavepackets by a swept trailing edge*. Jnl. Ac. Soc. Am. Vol. 140