www.onera.fr

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Restitution de la transition laminaire turbulente en hypersonique par assimilation de données

Référence : **MFE-DAAA-2024-21** *(à rappeler dans toute correspondance)*

Début de la thèse : 01/10/2024	**Date limite de candidature :** 30/05/2024

Mots clés

Hypersonique, transition, stabilité, DNS, assimilation de données

Profil et compétences recherchées

Master 2 / diplôme d'ingénieur

Compétences en mécanique des fluides compressibles et méthodes numériques. Des connaissances sur les instabilités aéro/hydrodynamiques et/ou en assimilation de données sont un plus

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Contexte :

Cette offre de thèse s'inscrit dans le cadre du Projet de Recherche Fédérateur FREHyA, mené conjointement avec le CEA. Les objectifs de ce projet sont d'améliorer la compréhension et la modélisation de la transition et de la turbulence des écoulements hypersoniques froids à travers des approches expérimentales et numériques.

Cette offre de thèse s'intéresse principalement à la reproduction numérique de la transition laminaire/turbulente mesurée lors d'essais en soufflerie.

Problématique :

Pour assurer une conception correcte des véhicules hypersoniques, il est important de prédire précisément les flux thermiques à la paroi. Ces flux sont très fortement contraints par la nature de la couche limite (laminaire/transitionnelle/turbulente). Or, les mécanismes à l'origine de la transition laminaire-turbulente sont complexes et encore mal compris. Ce point est d'autant plus problématique que les phénomènes transitionnels sont très dépendants des fluctuations présentes dans l'écoulement libre autour de la maquette dans le cas d'essais en soufflerie (voir figure 1) ou de l'engin dans le cadre du vol. Ces fluctuations sont très difficiles à mesurer précisément ce qui rend la comparaison calcul/essai très complexe. Pour réaliser une analyse fine de la physique de l'écoulement pendant les essais, il faut se tourner vers des résultats de calculs haute-fidélité. Il est donc crucial de pouvoir reproduire numériquement les perturbations amont rencontrées en soufflerie.

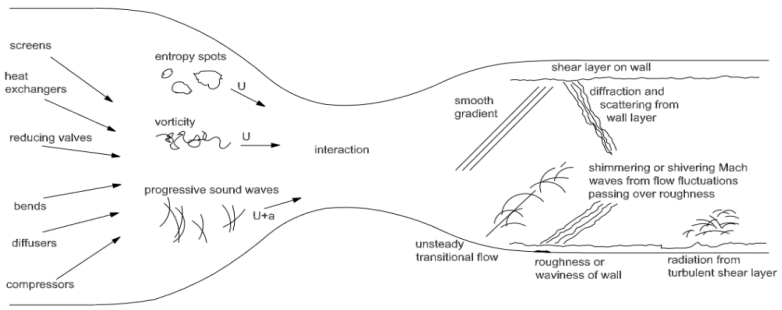

Figure 1 Illustration de l'origine possible des perturbations rencontrées en soufflerie hypersonique conventionnelle d'après [1]

Approche :

L'objectif est de déterminer les perturbations amont donnant lieu à la transition observée en essai. Il s'agit donc d'un problème inverse que l'on propose de résoudre à l'aide de méthodes d'assimilation (de type ensembliste). Pour cela on utilisera des mesures de pression pariétale venant d'une campagne d'essai déjà

réalisée et de calculs haute-fidélité (de type DNS) de l'écoulement. Cette méthode a déjà donné des résultats prometteurs sur un cas physiquement plus simple [2].

Objectifs de la thèse

Cette thèse vise à la fois à mener des développements méthodologiques, visant à perfectionner la méthode de résolution du problème inverse, et à appliquer la méthode sur un cas d'intérêt pour le projet FREHyA.

D'un point de vue méthodologique, plusieurs aspects pourront être étudiés :

- Les méthodes ensemblistes reposent sur la construction d'un ensemble de départ. Ici, il s'agira d'un jeu de différents types de perturbations. On propose de travailler sur ce jeu de départ en y ajoutant de l'intuition physique, en se basant soit sur des analyses de stabilité linéaire, soit sur des bases de données expérimentales de fluctuations d'écoulement libre.
- Des quantifications d'incertitudes sur les données acquises en soufflerie pourront être intégrées à l'approche afin d'en augmenter la fidélité.
- Afin de réduire le coût de l'approche et de la rendre accessible pour la restitution d'essais en vol, objectif à plus long terme, des méthodes multi-fidélités pourront également être développées.

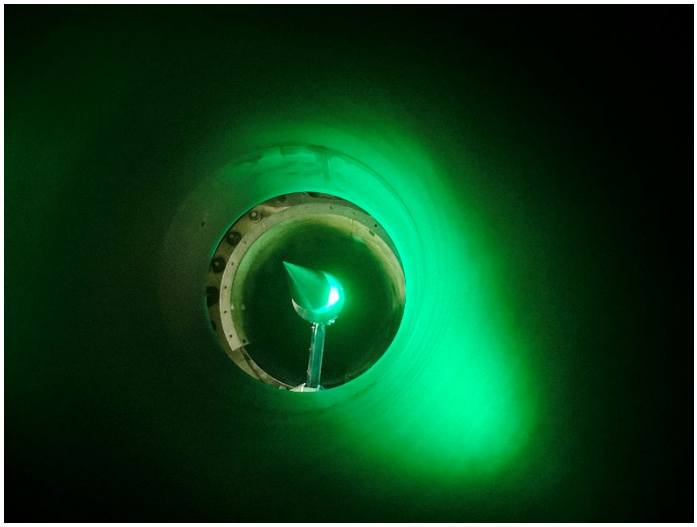

Figure 2 – Maquette CCF12 dans la soufflerie R2Ch

D'un point de vue applicatif, le travail consistera principalement à utiliser la méthode sur un écoulement autour de la géométrie CCF12 (cone-cylinder-flare, ou cône-cylindre-jupe en français) réalisé dans la soufflerie R2Ch de l'ONERA (voir figure 2). Pour cela, il faudra mettre en place des calculs haute-fidélité de la configuration, puis utiliser la base de données expérimentale pour créer une restitution numérique de l'essai. Une telle restitution à haut nombre de Mach serait une première dans l'état de l'art. Cette simulation permettra de réaliser une analyse physique de l'écoulement afin d'en extraire le scénario de transition vers la turbulence.

Finalement, des réflexions sur l'applicabilité de la méthode à la restitution d'essais en vol, que ce soit d'un point de vue méthodologique (génération des ensembles, multi-fidélité) ou applicatif (coût de calcul) pourront être menées.

Environnement

On s'appuiera sur une base de données expérimentale de grande qualité déjà disponible ainsi que sur plusieurs compétences déjà mises en œuvre à l'ONERA et au CEA, notamment en termes de calcul haute-fidélité [3] et d'assimilation de données ensemblistes [4] et problème inverse/statistiques bayésiennes computationnelles (Monte Carlo).

Il peut être noté, qu'en plus du contexte du projet FREHYA, cette thèse sera menée conjointement à une thèse financée par l'Agence d'Innovation Défense de la DGA, qui a commencé en octobre 2023 et qui vise à simuler les perturbations émises par les souffleries hypersoniques. Cette thèse pourra amener des éléments physiques pertinents pour la mise en place de l'assimilation.

Bien que le travail soit très majoritairement numérique, il sera réalisé en forte collaboration avec les équipes expérimentales qui fourniront des mesures de référence de l'écoulement.

[1] Schneider, Steven P. "Development of hypersonic quiet tunnels." Journal of Spacecraft and Rockets 45.4 (2008): 641-664.

[2] Buchta, David A., Stuart J. Laurence, and Tamer A. Zaki. "Assimilation of wall-pressure measurements in high-speed flow over a cone." Journal of Fluid Mechanics 947 (2022): R2.

[3] Lugrin, Mathieu, et al. "Transition scenario in hypersonic axisymmetrical compression ramp flow." Journal of Fluid Mechanics 907 (2021): A6.

[4] Mons, Vincent, Yifan Du, and Tamer A. Zaki. "Ensemble-variational assimilation of statistical data in large-eddy simulation." Physical Review Fluids 6.10 (2021): 104607.

Collaborations envisagées

CEA/CESTA

NATO AVT

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Département Aérodynamique Aéroélasticité Acoustique

Lieu (centre ONERA) : Meudon

Contact : Mathieu Lugrin / Vincent Mons

Tél. : 01 46 23 51 93 Email : mathieu.lugrin@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Pierre Minvielle/Reynald Bur

Laboratoire : CESTA/DAAA

Tél. : 01 46 23 51 98Email : reynald.bur@onera.fr

Pour plus d'informations : https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche