

Characterization & Modeling of Porous Bleed for Boundary-Layer Control with &  
without Shock-Wave Interaction

*Caractérisation et modélisation de pièges poreux pour le contrôle de la couche limite avec  
et sans interaction d'une onde de choc*

**Soutenance de thèse – Julian Giehler**

**Mardi 19 mars 2024 à 14H00**

En présentiel : **Salle AY 02-63 - ONERA Meudon**

En distanciel : **Jitsi** : [https://rdv.onera.fr/these\\_julian\\_giehler\\_soutenance](https://rdv.onera.fr/these_julian_giehler_soutenance)

Devant le jury composé de :

- **Directeur de Thèse :**
  - Reynald BUR, Directeur de Recherche, ONERA/DAAA
- **Encadrant de Thèse :**
  - Pierre GRENSON, Ingénieur de recherche, ONERA/DAAA
- **Rapporteurs :**
  - Holger BABINSKY, Professor, University of Cambridge
  - Piotr DOERFFER, Professor, Institute of Fluid Flow Machinery, Gdansk
- **Examineurs :**
  - Julien WEISS, Professor, Technical University of Berlin
  - Christian TENAUD, Directeur de Recherche, CentraleSupélec
- **Invités :**
  - Jean-Pierre ROSENBLUM, Dassault Aviation
  - Christophe NOTTIN, MBDA France

\*\*\*

## **Abstract / Résumé :**

Flow control by porous bleed systems is studied both numerically and experimentally. First, the control of supersonic and subsonic turbulent boundary layer is investigated, before the control of a shock-wave/boundary-layer interaction.

The numerical study consists of two parts. First, a numerical parametric study is conducted to determine the influences of geometrical parameters and inflow conditions, and to generate a comprehensive database. The concept of bleed efficiency and effectiveness is introduced and evaluated. Bleed efficiency describes the ability to remove a high bleed rate with low pressure losses. Bleed effectiveness is the ability to generate a high momentum flow by removing only a small amount of bleed air. In the second step, state-of-the-art bleed models are applied as a suction boundary condition in the in-house flow solver elsA. A comprehensive benchmark test is performed to evaluate the models based on the data from the parametric study. Significant model deficiencies regarding the prediction of the bleed effectiveness are observed.

Experiments in the S8Ch wind tunnel in Meudon are performed for the Mach numbers  $M = 1.62$  and  $M = 0.5$ . The measurements serve the validation of the numerical finding from the experimental study. Very good agreement between simulations and experiments is achieved.

Finally, a novel bleed model applying locally distributed suction is derived. The model is applicable for both supersonic and subsonic flow without requiring flow field quantities. Both bleed efficiency and effectiveness are well predicted. Moreover, the model is applicable for the complex flow case of the control of a shock-wave/boundary-layer interaction.

-----

*Le contrôle de l'écoulement à l'aide de piège poreux est étudié à la fois numériquement et expérimentalement. On s'intéresse dans un premier temps au cas d'une couche limite turbulente en régimes supersonique puis subsonique. On traite en seconde partie du contrôle de l'interaction onde de choc/couche limite.*

*L'étude numérique se compose de deux parties. Tout d'abord, une étude paramétrique est réalisée afin d'identifier l'influence des paramètres géométriques et des conditions d'écoulement dans le but de générer une base de données exhaustive. Les concepts d'efficacité et d'effectivité d'un piège poreux sont introduits et évalués. L'efficacité décrit la capacité à assurer un niveau d'aspiration sans recourir à une pression trop basse dans la cavité. L'effectivité représente la capacité à augmenter la quantité de mouvement de l'écoulement de couche limite à proximité de la paroi en prélevant un débit minimal d'air. Dans la deuxième phase de l'étude, les modèles de pièges poreux issus de la littérature sont appliqués en tant que condition d'aspiration continue dans le solveur compressible structuré elsA. Une comparaison exhaustive de ces modèles est conduite sur la base de données issue de l'étude paramétrique. Des écarts significatifs entre les modèles sont observés concernant la prévision de l'efficacité et de l'effectivité des pièges poreux.*

*Des expériences dans la soufflerie S8Ch à Meudon sont réalisées pour les nombres de Mach  $M = 1.62$  et  $M = 0.5$ . Les mesures de pressions pariétales ainsi que de champs de vitesse par vélocimétrie laser à franges (VLF) ont permis de valider les conclusions des études numériques dans la mesure où un très bon accord entre les simulations et les expériences est observé.*

*Dans un dernier temps, nous avons élaboré un nouveau modèle de piège poreux en appliquant une condition d'aspiration distribuée. Le modèle est validé à la fois pour les écoulements supersonique et subsonique, à partir de grandeurs pariétales uniquement. L'efficacité et l'effectivité des pièges poreux issus de la base de données sont calculées finement avec une grande précision. Le modèle est finalement appliqué et validé au cas complexe du contrôle de l'interaction onde de choc/couche limite.*

**Key words / Mots clés :**

Flow Control, Supersonic Flows, Shock-Wave/Boundary-Layer Interaction, Suction Boundary Condition, Modeling.

*Contrôle de l'écoulement, Écoulements supersoniques, Interaction onde de choc/couche limite, Condition d'aspiration, Modélisation.*