



Caractérisation de l'aérodynamique des sillages tourbillonnaires et des ondes de choc des avions de transport

Characterization of the Aerodynamics of Transport Aircraft Wake Vortices and Shock Waves

Soutenance d'Habilitation à Diriger les Recherches – Vincent BRION

Vendredi 28 novembre 2025 à 14h00

Salle AY-02-63 – ONERA Meudon

Lien Jitsi : https://rdv.onera.fr/hdr_brion

(Configuration recommandée : navigateur Chrome)

Devant le jury composé de :

Examineurs :

- **Thomas LEWEKE**, Directeur de Recherche, CNRS-IRPHE
- **Sabine ORTIZ**, Professeure, ENSTA
- **Nicolas GOURDAIN**, Professeur, ISAE SUPAERO
- **Reynald BUR**, Directeur de Recherche, ONERA-DAAA

Rapporteurs :

- **Olivier CADOT**, Professeur, UNIVERSITE DE LIVERPOOL
- **Pierre BRANCHER**, Professeur, UNIVERSITE DE TOULOUSE, IMFT
- **Ivan DELBENDE**, Maître de conférences HDR, SORBONNE UNIVERSITE, INSTITUT JEAN-LE-ROND D'ALEMBERT

Résumé / Abstract :

Ce mémoire d'HDR retrace mes travaux dans deux domaines fondamentaux de l'aérodynamique appliquée aux avions de transport : la dynamique des sillages tourbillonnaires et les interactions onde de choc / couche limite.

Les recherches menées sur la dynamique des tourbillons marginaux visent à comprendre les mécanismes physiques qui gouvernent l'évolution des sillages tourbillonnaires d'avions, du champ proche jusqu'à leur dissipation. Ces sillages, intrinsèquement liés à la génération de portance, sont structurés autour de deux tourbillons contra-rotatifs qui peuvent persister sur plusieurs centaines d'envergures, induisant des risques pour la sécurité aérienne et des effets climatiques à travers l'interaction avec les traînées de condensation. Les travaux s'appuient sur des approches expérimentales en soufflerie, numériques (DNS) et théoriques (modèles de stabilité linéaire, perturbations optimales, résolvantes). Plusieurs phénomènes ont été investigués : le flottement tourbillonnaire, les instabilités coopératives de type Crow (longues longueurs d'onde), les instabilités elliptiques (courtes longueurs d'onde), la transition vers des états non axisymétriques, et l'effet de sol. L'objectif est d'identifier les mécanismes déclencheurs et d'envisager des stratégies de contrôle. Par ailleurs, des travaux sur la détection des tourbillons par Radar sont également décrits.

Le second axe concernant les interactions onde de choc / couche limite vise à mieux comprendre et modéliser les phénomènes instationnaires à basse fréquence associés aux régimes transsoniques et supersonique, en particulier le tremblement de choc (*shock buffet* en anglais) sur les profils d'aile en transsonique. Les travaux s'appuient sur des expérimentations en soufflerie transsonique (notamment la soufflerie S3Ch de l'ONERA Meudon), sur des profils d'aile rigides ou montés sur systèmes élastiques, avec des techniques de mesure optique non-intrusive (strioscopie, PIV) et une instrumentation embarquée. Les recherches ont mis en évidence le rôle majeur de la transition laminaire dans le type de l'oscillation de choc sur les profils. Une interaction forte entre la dynamique de la bulle de séparation laminaire et la position de l'onde de choc a été identifiée. Dans le régime turbulent, les travaux sur le couplage fluide-structure, en testant un profil monté sur pivots avec degrés de liberté en tangage et pompage ont mis en évidence une dynamique combinée entre les modes de flexion de l'aile et le déplacement du choc, révélant un couplage auto-entretenu pouvant mener à des oscillations importantes. Enfin, une analyse modale par approche résolvente linéarisée autour d'écoulements RANS a permis d'identifier les modes dominants, au comportement amplificateur et non résonateur comme le tremblement de choc, responsables des fluctuations de L4écoulement d'interaction choc / couche limite dans une interaction de choc oblique à Mach 1.6.

This HDR thesis presents my research in two fundamental areas of aerodynamics applied to transport aircraft: the dynamics of wake vortices and shock/boundary-layer interactions.

The research conducted on the dynamics of wingtip vortices aims to understand the physical mechanisms governing the evolution of aircraft wake vortices, from the near field to their dissipation. These wakes, intrinsically linked to lift generation, are structured around a pair of counter-rotating vortices that can persist over several hundred wingspans, posing risks to flight safety and contributing to climatic effects through interaction with condensation trails. The work relies on wind tunnel experiments, numerical simulations (DNS), and theoretical approaches (linear stability models, optimal perturbations, resolvent analysis). Several phenomena have been investigated : vortex meandering, long-wavelength cooperative instabilities of the Crow type, short-wavelength elliptic instabilities, transitions toward non-axisymmetric states, and ground effect. The objective is to identify the triggering mechanisms and explore possible control strategies. In addition, studies on vortex detection using radar are also described.

The second research axis focuses on shock/boundary-layer interactions, aiming to better understand and model low-frequency unsteady phenomena associated with transonic and supersonic regimes, in particular shock buffet on airfoils in transonic flow. The work is based on experiments conducted in transonic wind tunnels (notably the S3Ch facility at ONERA Meudon), on both rigid airfoils and airfoils mounted on elastic systems, using non-intrusive optical measurement techniques (schlieren imaging, PIV) and onboard instrumentation. The research has revealed the peculiar role of laminar-to-turbulent transition in the nature and variability of shock buffet on airfoils. A strong interaction between the dynamics of the laminar separation bubble and the shock position has been identified. In the turbulent regime, studies on fluid-structure coupling—by testing an airfoil mounted on pivots with pitch and plunge degrees of freedom—have highlighted a combined dynamics between wing bending modes and shock motion, revealing a self-sustained coupling that can lead to significant oscillations. Finally, a modal analysis using a linearized resolvent approach around RANS flows has enabled the identification of dominant modes, with an amplifier-type and non-resonant behavior similar to shock buffet, responsible for the flow fluctuations in a shock/boundary-layer interaction at Mach 1.6 in the case of an oblique shock.

Mots clés / Key words:

Tourbillons, onde de choc, stabilité, soufflerie, simulation, contrôle

Vortices, shock wave, stability, wind tunnel, simulation, control