

## Invitation à la soutenance de thèse

**Ludovic TAGUEMA** soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA EDyF et intitulée « *Modélisation de l'intermittence en transition naturelle par équations de transport pour des applications aéronautiques* »

**Le 17 décembre 2024 à 10h00,**

**Auditorium de l'ONERA Toulouse**

**Devant le jury composé de :**

M. François CHEDEVERGNE	ONERA	Directeur de thèse
M. Michel VISONNEAU	École Centrale de Nantes	Rapporteur
Mme Héloïse BEAUGENDRE	Université de Bordeaux	Rapporteuse
M. Christophe AIRIAU	Université Paul Sabatier Toulouse	Examineur
M. Guillaume LEHNASCH	ISAE-ENSMA	Examineur
M. Lucas PASCAL	ONERA	Invité
M. Julien CLIQUET	Airbus Operation SAS	Invité

### Résumé

Pour améliorer l'aérodynamisme des avions, les ingénieurs cherchent à réduire la traînée de frottement causée par les effets visqueux en paroi, dans la région que l'on nomme couche limite. L'écoulement dans cette région peut être laminaire, turbulent ou transitionnel. Le régime laminaire, plus ordonné, génère moins de traînée que le régime turbulent, marqué par un comportement chaotique. La transition entre ces deux états se manifeste par l'apparition de spots turbulents qui croissent, se propagent et s'agrègent jusqu'à rendre l'écoulement entièrement turbulent. La transition de la couche limite dépend de sa réceptivité aux perturbations extérieures. Pour de faibles niveaux, la transition est dite naturelle et est déclenchée par la croissance modale des ondes de Tollmien-Schlichting (TS) pour les cas sans flèche. En aval des abscisses de transition, l'écoulement peut être décrit à l'aide du facteur d'intermittence  $\gamma$ , qui mesure la fraction de temps pendant laquelle un point de l'écoulement est turbulent. Ce facteur est fonction de la distance au point de transition, de l'historique de vitesse et du taux de production et de propagation des spots turbulents  $\sigma$ . Dans les codes RANS, la modélisation du facteur d'intermittence s'effectue généralement à l'aide d'équations aux dérivées partielles (EDP) qu'il est possible de répartir en deux catégories distinctes. La première repose sur l'emploi exclusif de corrélations locales, tandis que la seconde, basée sur l'expression analytique du facteur d'intermittence de Narasimha, privilégie une approche plus physique. Cependant, ces méthodes présentent des limites lorsqu'il s'agit de modéliser la transition naturelle induite par les ondes TS. En effet, elles ont été initialement développées pour des applications de turbomachines, où la transition est principalement de type bypass. Dans ces cas, les niveaux élevés de perturbations extérieures influencent fortement les taux de production et de propagation des spots turbulents  $\sigma$ . La première contribution de cette thèse a donc été de développer une EDP pour le facteur d'intermittence, reposant sur un modèle dérivé de l'expression de Narasimha, et dont le taux

de production et de propagation des spots turbulents est spécifiquement adapté aux faibles niveaux de turbulence extérieure ( $Tu$ ) rencontrés dans le cadre de la transition naturelle. La seconde contribution de cette thèse a été de doter CODA, le solveur RANS développé par Airbus, l'ONERA et le DLR, de ce nouveau modèle d'intermittence capable de modéliser les régions de transition pour des applications d'aérodynamique externe. Cette thèse débute par une revue de l'état de l'art sur la région de transition et sa modélisation dans les codes Navier-Stokes. Elle examine les mécanismes menant à la turbulence, la nature intermittente de la région transitionnelle, et l'influence des taux de turbulence extérieure sur son étendue. Le critère de transition AHD-transporté et l'EDP pour  $\gamma$  de Suzen et Huang sont identifiés comme des modèles particulièrement pertinents pour cette étude. Elle se poursuit par l'élaboration d'une nouvelle corrélation pour  $n\sigma$ , développée à partir de données expérimentales pour la transition naturelle. Cette corrélation, qui propose une indépendance de  $n\sigma$  vis-à-vis du  $Tu$  pour la transition naturelle, est intégrée dans une version modifiée de l'équation d'intermittence de Suzen et Huang et testée dans un code de couche limite. Enfin, cette version modifiée du facteur d'intermittence, comprenant la nouvelle corrélation sur  $n\sigma$ , est implantée dans le solveur CODA, où elle est couplée au critère AHD-transporté et au modèle de turbulence Spalart-Allmaras. Des simulations sont effectuées sur une plaque plane, un profil aérodynamique et une nacelle pour valider la chaîne de calcul complète, démontrant ainsi la capacité de CODA à modéliser avec précision les régions de transition dans ces diverses configurations aéronautiques.

**Mots clés :** CFD, transition laminaire-turbulent, CODA, IntermittenceZ