

# Multiphysics Phenomena Analysis on Boundary Layer Stability in Hypersonic Regime

## (STO-EN-AVT-289)

### Executive Summary

The AVT-289 on “Multiphysics Phenomena Analysis on Boundary Layer Stability in Hypersonic Regime” was held at the von Kármán Institute for Fluid Dynamics in Belgium from September 18 to 20, 2017. The Lecture Series Director was Dr. Fabio Pinna from the von Kármán Institute for Fluid Dynamics, Belgium. This Lecture Series supported by STO was to complement the field of high speed fluid dynamics and laminar-to-turbulent transition. Gas surface interaction, ablation and complex chemical reactions strongly influence the high speed flow field and its stability, therefore future investigations and design techniques shall consider these coupled phenomena. It has already been experienced in real flight tests that surface roughness and ‘transpiration’ type gas flows introduced through the surface of the vehicle do not lead, in all cases, to a complete laminar/turbulent transition. Especially the gas flow that is generated usually by pyrolysis of the ablative surface is characterized by such a low velocity that its effect is usually neglected. On the other hand chemical reactions have a strong impact and selection of the appropriate modeling has a relevant effect of the simulation of the flow stability. Theoretical and experimental modeling of the effects of hypersonic flows on transition along surface roughness and surface-normal low speed gas blowing into the boundary layer is introduced and discussed in detail during these Lecture Series. The course was organized in 3 days and was followed by 21 participants and 6 lecturers from 10 countries (Belgium, France, Germany, Greece, Italy, Portugal, Spain, Turkey, United Kingdom and the United States).

The first day was devoted to a historical review of experimental findings on blowing and roughness effect while the afternoon showed the effect of chemical reactions on the stability of boundary layer flows. The second day deepened the effect of blowing and roughness effect due to ablation by means of a numerical and theoretical analysis. The afternoon introduced the experimental study of the shock wave to boundary layer interaction. The third day was the occasion to present experimental techniques and results for hypersonic boundary layer in high enthalpy facilities. Related techniques and results were shown analyzing the subtleties to be dealt with when working in such a harsh environment. Finally a theoretical overview of the different effects and how they could be approached was discussed, providing a link with all the previous lectures. The day concluded with a visit of the facilities available at the institute relevant to aeronautic and aerospace applications.

# Analyse des phénomènes multiphysiques relatifs à la stabilité de la couche limite en régime hypersonique (STO-EN-AVT-289)

## Synthèse

L'AVT-289 intitulé « Analyse des phénomènes multiphysiques relatifs à la stabilité de la couche limite en régime hypersonique » s'est tenu à l'Institut von Kármán de dynamique des fluides du 18 au 20 septembre 2017. Le directeur de la série de conférences était le Dr Fabio Pinna de l'Institut von Kármán de dynamique des fluides, en Belgique. Cette série de conférences soutenue par la STO visait à compléter le champ de la dynamique des fluides à grande vitesse et de la transition entre écoulement laminaire et écoulement turbulent. L'interaction gaz-surface, l'ablation et les réactions chimiques complexes influencent fortement le champ d'écoulement à grande vitesse et sa stabilité ; les futures investigations et techniques de conception devront par conséquent tenir compte de ces phénomènes associés. Des essais en vol réel ont déjà montré que la rugosité de surface et les écoulements gazeux de type « transpiration » introduits à la surface du véhicule n'entraînaient pas systématiquement une transition complète entre écoulement laminaire et écoulement turbulent. En particulier, l'écoulement gazeux habituellement produit par la pyrolyse de la surface d'ablation se caractérise par une vitesse si faible que son effet est d'ordinaire négligé. D'autre part, les réactions chimiques ont un fort impact et le choix de la modélisation adéquate a un effet important sur la simulation de stabilité de l'écoulement. Cette série de conférences présentait et discutait en détail de la modélisation théorique et expérimentale des effets des écoulements hypersoniques sur la transition en cas de rugosité de surface et de soufflage de gaz normal à la surface à faible vitesse dans la couche limite. Les conférences se déroulaient sur trois jours et ont accueilli 21 participants et six conférenciers de dix pays (Belgique, France, Allemagne, Grèce, Italie, Portugal, Espagne, Turquie, Royaume-Uni et Etats-Unis).

Le premier jour a été consacré à une revue historique des découvertes expérimentales sur le soufflage et l'effet de rugosité, puis à l'effet des réactions chimiques sur la stabilité des écoulements de couche limite. Le deuxième jour a approfondi l'effet du soufflage et de la rugosité dû à l'ablation, au moyen d'une analyse numérique et théorique. L'étude expérimentale de l'interaction entre l'onde de choc et la couche limite a été abordée l'après-midi. Le troisième jour a été l'occasion de présenter des techniques expérimentales et des résultats concernant la couche limite hypersonique dans des installations à haute enthalpie. Les techniques et résultats correspondants ont été démontrés en analysant les subtilités à prendre en compte dans un environnement de travail aussi difficile. Enfin, une vue d'ensemble théorique des différents effets et de la manière de les approcher a été discutée, ce qui a établi un lien avec toutes les conférences précédentes. La journée s'est achevée par une visite des installations de l'institut relatives aux applications aéronautiques et aérospatiales.