

Understanding and Modeling Vortical Flows to Improve the Technology Readiness Level for Military Aircraft (RTO-TR-AVT-113)

Executive Summary

The Task Group AVT-113 was established to produce a better understanding and modelling of **vortical flows** in order to improve the technology readiness level of Computational Fluid Dynamics (CFD) for military aircraft. As this problem is so large, the approach chosen was to divide it up into two sub-parts or facets, one that dealt with a complete and representative fighter aircraft with all its complicated geometry – in particular the F-16XL, and one that dealt with an analytically defined delta-wing model on which some wind-tunnel data had already been collected. Both of these slender wings developed vortical flows and this combinational approach to the problem at two different scales was thought to offer the best opportunity to gain the needed insight for improving the CFD tools.

A unique published set of unclassified, flight flow-physics data existed for the F-16XL aircraft, along with CFD and wind-tunnel results. The missing piece was at least one other CFD solution that might explain some noted published anomalies between the predicted and measured flight surface-flow data. Due to the uniqueness of this flight data, three airframe companies – two in the USA and one in Europe – joined this effort along with two governmental laboratories, and four university led efforts. Membership in the latter two groups was evenly split between the USA and European organizations.

The analytically designed delta wing model needed other types of measurements than had been collected and published, both on- and off-the-surface, or in- and out-of-the-boundary-layer to generate a complete data set. An existing model from the USA, along with four new models fabricated in Europe, were employed to generate the needed data. Two of these models were tested in three wind-tunnels in Germany, three models were tested in France, and two in Turkey and one in the U.K. Moreover, CFD solutions were obtained in Germany, Sweden, Turkey, USA and the U.K. in support of this effort. In particular, one set of CFD solutions obtained in Germany was key to an experimental off-surface test focusing its equipment in the proper location.

Studying the resulting vortical flows from these two scale- and shape-perspectives together has provided new insight and led to an increased understanding of the dominant flow physics which exists on- and off-the-surface, or in- and out-of-the-boundary-layer. Researchers from Belgium, the Czech Republic, France, Germany, Italy, Slovenia, Sweden, The Netherlands, Turkey, the United Kingdom and the United States of America – representing the commitment of air-frame manufacturers, government laboratories and universities – contributed to the work of this task group.

It is interesting that the vortical flow problem at transonic speeds was the most complex and difficult problem for both facets. Though some progress has been made, there are still unanswered questions for vortex-dominated flows at transonic speeds.

Compréhension et modélisation des flux de vortex pour améliorer le niveau de maturité technologique au profit des avions militaires

(RTO-TR-AVT-113)

Synthèse

Le groupe de travail AVT-113 a été mis en place pour fournir une meilleure compréhension et une meilleure modélisation des **flux de vortex** afin d'améliorer le niveau de maturité technologique de la Mécanique des Fluides Numériques (MFN) pour les avions militaires. Le sujet étant très étendu, l'approche choisie a été de diviser en deux sous-parties ou facettes, une facette sur l'étude d'un avion de chasse représentatif et complet avec toute sa géométrie complexe – en particulier le F-16XL, une autre facette sur l'étude d'un modèle de voilure delta analytiquement défini sur lequel quelques données de soufflerie avaient été déjà récupérées. Ces deux ailes effilées ont développé des flux de vortex et nous pensons que cette approche combinée du problème à deux échelles différentes était de nature à offrir la meilleure opportunité d'obtenir l'éclairage nécessaire pour améliorer les outils MFN.

Une publication exceptionnelle de données non classifiées sur la physique des flux en vol existait pour l'avion F-16XL, incluant des résultats de données sur le MFN et en soufflerie. La pièce manquante était au moins une autre solution MFN qui puisse expliquer quelques anomalies remarquées dans les publications sur les données prévues et les données mesurées sur la surface d'écoulement en vol. Du fait du caractère exceptionnel de ces données de vol, trois fabricants de cellules – deux aux Etats-Unis et un en Europe – ont rejoint cette activité avec deux laboratoires gouvernementaux et quatre actions universitaires. L'appartenance aux deux derniers groupes provenait à part égale d'organisations des Etats-Unis et d'Europe.

Le modèle de voilure delta conçu analytiquement nécessitait d'autres types de mesures qui ont été récupérées et publiées, à la fois sur la surface et hors-surface, et d'autre part dans et en dehors de la couche limite afin de fournir un ensemble complet de données. Un modèle existant aux Etats-Unis avec quatre nouveaux modèles fabriqués en Europe furent utilisés pour obtenir les données nécessaires. Deux de ces modèles ont été testés dans trois souffleries en Allemagne, trois modèles ont été testés en France, deux en Turquie et un au Royaume-Uni. De plus, pour soutenir cette activité, des solutions MFN ont été obtenues en Allemagne, en Suède, en Turquie, aux Etats-Unis et au Royaume-Uni. En particulier, un ensemble de solutions MFN obtenu en Allemagne a été la clé d'un essai expérimental hors-surface concentrant ses équipements au bon endroit.

L'étude des flux de vortex résultant à ces deux échelles et sous ces deux formes a fourni un nouvel éclairage et a conduit à une meilleure compréhension de la physique des flux dominants qui existent sur la surface et hors-surface ou dans et en dehors de la couche limite. Des chercheurs de Belgique, de la République Tchèque, de France, d'Allemagne, d'Italie, de Slovénie, de Suède, des Pays-Bas, de la Turquie, du Royaume-Uni, et des Etats-Unis d'Amérique – représentant l'engagement des fabricants de cellules, des laboratoires gouvernementaux et des universités – ont apporté leur contribution au travail réalisé par le groupe de travail.

Ce qui est intéressant est que, pour chaque facette, le problème le plus complexe et le plus difficile fut celui du flux de vortex aux vitesses transsoniques. Bien que des progrès aient été faits, il subsiste toujours des questions sans réponses sur les flux de vortex dominants aux vitesses transsoniques.