

# **Rotorcraft Flight Simulation Model Fidelity Improvement and Assessment**

## **(STO-EN-AVT-365)**

### **Executive Summary**

Rotorcraft flight dynamics simulation models require high levels of fidelity to be suitable as prime items in support of life cycle practices, particularly vehicle and control design and development, and system and trainer certification. On the civil side, both the FAA (US) and EASA (Europe) have documented criteria (metrics and practices) for assessing model and simulator fidelity as compared to flight-test data, although these have not been updated for several decades. On the military side, the related practices in NATO nations are not harmonised and often only developed for specific applications. Methods to update the models for improved fidelity are mostly ad hoc and lack a rational and methodical approach. Modern rotorcraft system identification (SID) and inverse simulation methods have been developed in recent years that provide new approaches well suited to pilot-in-the-loop fidelity assessment and systematic techniques for updating simulation models to achieve the needed level of fidelity. To coordinate efforts and improve the knowledge in this area, STO Applied Vehicle Technology Panel Research Task Group (STO AVT-296 RTG) was constituted to evaluate update methods used by member nations to find best practices and suitability for different applications including advanced rotorcraft configurations. The proposal of this follow-on Research Lecture Series (STO AVT-365 RLS) is to disseminate the results based on the conclusion of the effort from AVT-296, with the intention to train NATO member nations in these best practices.

An overview of previous rotorcraft simulation fidelity Working Groups is presented, followed by a review of the metrics that have been used in previous studies to quantify the fidelity of a flight model or the overall perceptual fidelity of a simulator. The theoretical foundations of the seven different update methods and a description of the eight flight databases (Bell 412, UH-60, IRIS+, EC135, CH-47, AW139, AW109, and X2, provided by the National Research Council of Canada, US Army, Airbus Helicopters, Boeing, Leonardo Helicopter Division, and Sikorsky) used by the RTG is presented. Both time- and frequency-domain fidelity assessment methods are considered, including those in current use by simulator qualification authorities and those used in the research community. Case studies are used to show the application, utility, and limitations of the update and assessment methods to the flight-test data.

The work of the RTG has shown that time- and frequency-domain SID based metrics are suitable for use for assessing the model fidelity across a wide range of rotorcraft configurations. Gain and time delay update methods work well for well-developed flight dynamics models and can be used for flight control system design, but do not provide physical insights into the sources of errors in a model. Deriving stability and control derivatives from flight-test data using SID and nonlinear simulation models using perturbation extraction methods provides insight into the missing dynamics of the simulation model, which can subsequently be updated using additional forces and moments to significantly improve the fidelity of the model and can be used to update models for flight simulation training application methods. Reduced order model and physics-based correction methods provide large benefits when extrapolating to other flight conditions but does require detailed flight-test data. SID can quickly provide accurate point models, if detailed flight-test data are available, which can be ‘stitched’ together to produce models suitable for real-time piloted simulation and control design applications. However, the dependency on flight-test data means that this method is not suitable for early aircraft development activities.

This documentation of rotorcraft simulation fidelity assessment and model update strategies will benefit NATO nations by allowing for common, agreed-upon best practices and recommendations, ensuring each country's flight dynamics and simulation models are of the highest caliber possible. The collaboration between industry, academia, and government laboratories has been key to the success of this RTG; this cooperation model should be adopted in future research activities. As industries strive to achieve greater efficiency and safety in their products, the fidelity of simulation should match commercial aspirations to ensure that the 'right first time' ethos is fully embedded into industrial best practices. Militaries will be able to use the methods and metrics presented to set criteria that will underpin the use of modeling and simulation in certification to accelerate development and acquisition and reduce the cost of new aircraft systems, e.g., advanced high-speed rotorcraft and legacy system upgrades. The criteria may also set standards for training devices used to support the expansion of synthetic environments for training to offset the high costs of flight hours. The RTG has identified that current flight training simulator standards could be updated to use the flight model and perceptual fidelity metrics presented in this Lecture Series to ensure that models are not 'over-tuned,' and a more rigorous method of subjective simulator assessment is adopted.

# Amélioration et évaluation de la fidélité des modèles de simulation du vol à voilure tournante

## (STO-EN-AVT-365)

### Synthèse

Les modèles de simulation de la dynamique du vol à voilure tournante doivent avoir un niveau de fidélité élevé pour servir d'éléments principaux étayant les pratiques du cycle de vie, en particulier la conception et la mise au point des véhicules et des commandes et la certification du système et du simulateur. Dans le domaine civil, tant la FAA (États-Unis) que l'AESA (Europe) ont documenté des critères (indicateurs et pratiques) d'évaluation de la fidélité des modèles et simulateurs aux données d'essai en vol, même si ces critères n'ont pas été mis à jour depuis des décennies. Dans le domaine militaire, les pratiques correspondantes dans les pays de l'OTAN ne sont pas harmonisées et ne sont souvent élaborées que pour des applications bien précises. Les méthodes de mise à jour des modèles pour en améliorer la fidélité sont principalement ad hoc et manquent d'une approche rationnelle et méthodique. Des méthodes modernes d'identification des systèmes (SID) d'aéronefs à voilure tournante et de simulation inverse ont été mises au point ces dernières années. Elles constituent de nouvelles approches bien adaptées à l'évaluation de la fidélité avec pilote dans la boucle et aux techniques systématiques de mise à jour des modèles de simulation pour atteindre le niveau de fidélité nécessaire. Dans le but de coordonner les travaux et améliorer les connaissances dans ce domaine, le groupe de recherche de la Commission sur la technologie appliquée aux véhicules de la STO (RTG STO AVT-296) a été constitué afin d'évaluer les méthodes de mise à jour qu'emploient les pays membres, de trouver les meilleures pratiques et d'évaluer leur adéquation aux différentes applications, notamment les configurations perfectionnées d'aéronef à voilure tournante. La proposition de cette série de conférences de recherche (RLS STO AVT-365) est de diffuser les résultats en fonction de la conclusion des travaux de l'AVT-296, dans l'intention de former les pays membres de l'OTAN à ces nouvelles meilleures pratiques.

Le présent document donne une vue d'ensemble des groupes de travail précédents portant sur la fidélité de la simulation des aéronefs à voilure tournante, puis passe en revue les indicateurs qui ont été utilisés dans les précédentes études pour quantifier la fidélité d'un modèle de vol ou la fidélité perceptive générale d'un simulateur. Nous exposons les fondements théoriques des sept méthodes de mise à jour et décrivons les huit bases de données de vol (Bell 412, UH-60, IRIS+, EC135, CH-47, AW139, AW109 et X2, fournies par le Conseil national de recherches Canada, l'Armée de terre des États-Unis, Airbus Helicopters, Boeing, Leonardo Helicopter Division et Sikorsky) utilisées par le RTG. Des méthodes d'évaluation de la fidélité du domaine temporel et fréquentiel sont étudiées, y compris celles actuellement appliquées par les autorités de qualification des simulateurs et celles utilisées dans la communauté de la recherche. Des études de cas montrent l'application, l'utilité et les limites de la mise à jour et des méthodes d'évaluation des données d'essai en vol.

Le travail du RTG montre que les indicateurs basés sur le SID du domaine temporel et fréquentiel sont adaptés à l'évaluation de la fidélité du modèle dans une large gamme de configurations d'aéronefs à voilure tournante. Les méthodes de mise à jour du gain et de la temporisation fonctionnent bien pour les modèles de dynamique de vol bien développés et peuvent servir à concevoir des systèmes de commande de vol, mais elles ne fournissent pas d'informations physiques sur les sources d'erreur d'un modèle. La déduction des dérivées de stabilité et de commande à partir de données d'essai en vol utilisant le SID et de modèles de simulation non linéaires utilisant des méthodes d'extraction des perturbations fournit un aperçu

de la dynamique manquante du modèle de simulation, lequel peut ensuite être mis à jour avec des forces et moments supplémentaires pour améliorer sensiblement la fidélité du modèle et peut servir à actualiser les modèles des méthodes applicatives de formation par simulation de vol. Les méthodes de correction basées sur la physique et les modèles réduits offrent de grands avantages lors de l'extrapolation à d'autres conditions de vol, mais nécessitent des données détaillées d'essai en vol. Le SID peut fournir rapidement des modèles de point exacts, si des données détaillées d'essai en vol sont disponibles, lesquels peuvent être « assemblés » pour produire des modèles adaptés à la simulation pilotée en temps réel et aux applications de conception des commandes. Cependant, la dépendance aux données d'essai en vol signifie que cette méthode n'est pas adaptée aux activités précoces de mise au point des aéronefs.

Cette documentation de l'évaluation de la fidélité de simulation des aéronefs à voilure tournante et des stratégies de mise à jour des modèles bénéficiera aux pays de l'OTAN en leur permettant de convenir des meilleures pratiques et des recommandations communes, qui garantiront le niveau le plus élevé possible des modèles de simulation et de dynamique de vol de chaque pays. La collaboration entre l'industrie, le monde universitaire et les laboratoires publics a été la clé de la réussite de ce RTG. Ce modèle de coopération devrait être adopté dans les futures activités de recherche. Alors que les industries s'efforcent d'atteindre une plus grande efficacité et une meilleure sécurité de leurs produits, la fidélité de la simulation devrait correspondre aux aspirations commerciales, afin que la philosophie de « réussite du premier coup » soit pleinement intégrée dans les meilleures pratiques industrielles. Les militaires pourront utiliser les méthodes et indicateurs présentés pour établir des critères qui étayeront l'utilisation de la modélisation et simulation dans la certification, afin d'accélérer la mise au point et l'acquisition et de réduire le coût des nouveaux systèmes d'aéronefs, par exemple les aéronefs à voilure tournante à grande vitesse et les systèmes hérités modernisés. Ces critères peuvent également établir des normes pour les appareils de formation servant à soutenir le développement des environnements synthétiques dans l'entraînement, afin de contrebalancer le coût élevé des heures de vol. Le RTG a déterminé que les normes actuelles des simulateurs d'entraînement au vol pourraient être mises à jour pour utiliser le modèle de vol et les indicateurs de fidélité perceptive présentés dans cette série de conférences, afin de s'assurer que les modèles ne sont pas adaptés de manière excessive et qu'une méthode plus rigoureuse d'évaluation subjective des simulateurs est adoptée.