

# More Intelligent Gas Turbine Engines

## (RTO-TR-AVT-128)

### Executive Summary

Increased emphasis on aircraft safety, enhanced performance and affordability, and the need to reduce the environmental impact of aircrafts are being addressed through the concept of Intelligent Propulsion Systems. The key enabling technologies for these systems are the increased efficiencies of components through active control, advanced diagnostics and prognostics integrated with intelligent engine control, and distributed control with smart sensors and actuators. The emphasis throughout the report is on identifying the sensor and actuator needs, the current sensor and actuator technologies, and roadmaps for emerging technologies from the overall engine gas-path performance perspective.

**Actively Controlled Components** will mitigate challenges related inlet flow distortion and separation and noise; compressor aerodynamic losses and surge and stall; combustion instabilities, uneven temperature distribution, and pollution emission; turbine aerodynamic losses and leakages, high cycle fatigue, and limited airfoil durability; and jet noise, emission, and signature. The effectiveness of active control has been demonstrated in lab-scale tests, however significant efforts in R&D remain to implement these technologies. In particular, sensors and actuators for the high temperature environment in an aero engine are needed.

**Intelligent Control and Health Monitoring** with advanced model-based control architecture overcomes the limitations of state-of-the-art engine control and provides the potential of virtual sensors. “Tracking filters” are used to adapt the control parameters to actual conditions and to individual engines. Currently, health monitoring units are stand-alone monitoring units. Integration of both control and monitoring functions is possible, but certification issues have to be clarified. Adaptive models open up the possibility of adapting the control logic to maintain desired performance in the presence of engine degradation. Improved and new sensors are required to allow:

- 1) Sensing at stations with high operating temperatures; and
- 2) Additional monitoring of vibration, mass flows, fuel properties, exhaust gas composition, and gas-path debris.

**Distributed Engine Control** using high temperature electronics and open systems communications will reverse the growing trend of increasing ratio of control system weight to engine weight and also will be a major factor in decreasing overall cost of ownership. Challenges for implementation include need for high temperature electronics (located on or close to the sensing element), development of simple, robust communications (simplifying and reducing the wiring harness), and power supply for the on-board distributed electronics. With the limitation of standard silicon technology for current smart sensors, newer material technologies are required.

**Sensors** mainly require higher operational temperatures. Some progress can be made by changing the packaging and/or design of the current sensors, but sensor for locations close to the engine combustion chamber or afterburner do not exist. There is also a need for smart sensors, which would enable future distributed control architecture. A number of new sensors are being explored (gas composition, burning pattern factor, fuel property), and for other sensors rapid advances have been made (tip clearance). To meet the future sensor requirements, new fabrication and material technologies and advanced sensing principles are being explored.

**Actuator** requirements are addressed for three common actuation functions, namely:

- 1) Micro flow manipulation;
- 2) Large-scale flow switching; and
- 3) Mechanical manipulation.

Generic requirements are summarized in terms of operational environment and performance/capabilities depending on component applications. Developments towards these requirements must be intimately coupled to the specific application requirements in order to satisfy the overall constraints, including full system requirements, cost, maintenance, failure modes, etc. Established actuators and emerging technologies are being considered.

The report concludes with a roadmap for implementation of the various components and recommendations for sensor and actuator development priorities.

# Des turbomoteurs plus intelligents

## (RTO-TR-AVT-128)

### Synthèse

Une attention plus grande portée à la sécurité des avions, à l'amélioration des performances à moindre coût, ainsi que le besoin de réduire l'impact environnemental des avions sont pris en compte actuellement via le concept des Systèmes de Propulsion Intelligents. Les capacités technologiques clés proviennent de l'efficacité grandissante des composants grâce au contrôle automatique généralisé, aux diagnostics et aux pronostics évolués intégrés dans des commandes moteurs intelligentes ainsi que du contrôle distribué avec des capteurs et des servomoteurs intelligents. Ce rapport met l'accent sur l'identification des besoins en capteurs et en servomoteurs, des technologies actuelles sur les capteurs et les servomoteurs et des feuilles de route pour les technologies émergentes du point de vue des performances des turbines à gaz.

Le recours à des **Composants Attentivement Pilotés** permettra de remédier aux problématiques liées à la distorsion et à la séparation et au bruit du flux d'entrée d'air ; aux pertes et aux fuites aérodynamiques et au décrochage du compresseur ; aux instabilités de combustion, à la répartition irrégulière de la température et aux émissions polluantes ; aux pertes et aux fuites aérodynamiques des turbines, aux grands cycles de fatigue et à la durabilité limitée du profil aérodynamique ; et au bruit, à l'émission et à la signature des turboréacteurs. L'efficacité du contrôle automatique généralisé a été démontrée au cours d'essais en laboratoire, cependant, des efforts significatifs en R&D sont à faire afin de mettre en application ces technologies. En particulier, des capteurs et des servomoteurs capables de fonctionner dans un environnement à température élevée dans un moteur d'avion sont nécessaires.

**La Surveillance et le Contrôle Automatiques** dans le cadre d'une architecture de contrôle modélisée et évoluée permet de surmonter les limitations du contrôle actuel des moteurs et fournit le potentiel de capteurs virtuels. « Des filtres de poursuite » sont utilisés pour adapter les paramètres de contrôle aux conditions réelles et aux moteurs séparés. Actuellement, les dispositifs de surveillance de bon fonctionnement sont autonomes. L'intégration à la fois du contrôle et de la surveillance est possible, mais les questions d'homologation doivent être clarifiées. Des modèles souples rendent accessibles la possibilité d'adapter la logique du contrôle pour maintenir les performances désirées en présence d'une dégradation du moteur. Des capteurs nouveaux et améliorés sont nécessaires pour permettre :

- 1) Le sensing dans des emplacements à températures de fonctionnement élevées ; et
- 2) Le suivi complémentaire des vibrations, des débits de masse, des propriétés du carburant, de la composition des gaz d'échappement et des débris sur la trajectoire des gaz.

**Le Contrôle Moteur Distribué** utilisant de l'électronique à température élevée et des systèmes de communications ouverts inversera la tendance croissante actuelle vers une augmentation de la proportion de la masse dédiée au système de contrôle par rapport à la masse du moteur et sera aussi un facteur majeur en vue de la réduction du coût total de possession. Les défis de sa mise en œuvre comprennent le besoin en électronique fonctionnant à température élevée (situé sur ou près de l'élément du sensing), le développement de communications simples et robustes (simplification et réduction du faisceau électrique) et l'alimentation électrique pour la distribution de l'électronique de bord. A cause de la limitation de la technologie standard à base de silicium pour les capteurs intelligents actuels, des technologies à base de matériaux plus récents sont nécessaires.

**Les capteurs** requièrent principalement des températures de fonctionnement plus élevées. Des progrès peuvent être réalisés en changeant le conditionnement et/ou la conception des capteurs actuels, mais les capteurs destinés à être situés près de la chambre de combustion ou de la postcombustion n'existent pas. Il existe aussi un besoin en capteurs intelligents destinés à bâtir l'architecture de contrôle distribué à venir. Un certain nombre de nouveaux capteurs sont à l'étude (composition des gaz, taux de combustion, propriétés du carburant) et pour d'autres capteurs, des progrès rapides ont été réalisés (mesure du jeu en tête d'aube). Pour satisfaire aux exigences sur les futurs capteurs, de nouvelles techniques de fabrication et de nouveaux matériaux ainsi que des principes évolués de « sensing » sont à l'étude.

Pour les exigences concernant les **servomoteurs**, trois fonctions génériques sont abordées, à savoir :

- 1) La manipulation des micro-flux ;
- 2) La commutation en large flux ; et
- 3) La manipulation mécanique.

Les exigences génériques sont résumées en termes d'environnements opérationnels et performances/capacités en fonction des applications des composants. Les développements liés à ces exigences doivent être intimement couplés aux exigences sur les applications spécifiques afin de satisfaire à l'ensemble des contraintes y compris celles relatives au système dans son ensemble, au coût, à la maintenance, aux pannes etc. Les servomoteurs courants et les technologies émergentes sont pris en considération.

Le rapport conclut par une feuille de route sur la mise en œuvre des divers composants et les recommandations sur les priorités de développement des capteurs et des servomoteurs.