

RAPPORT D'INSPECTION DÉTAILLÉ DES AUBES DE TURBINE

Référence: TI-CFM-2025-0472

Classification: TECHNIQUE / CONFIDENTIEL

Date d'inspection: 18 mai 2025

Opérateur: Air France

Type d'aéronef: Airbus A350-900

Numéro de série: FGTHY

Moteur: Rolls-Royce Trent XWB-84

Heures de vol totales: 12,487

Cycles totaux: 1,842

1. INTRODUCTION

Le présent rapport détaille l'inspection complète des aubes de turbine haute pression (HPT) du moteur Rolls-Royce Trent XWB-84 équipant l'Airbus A350-900 immatriculé FGTHY. Cette inspection a été réalisée conformément aux exigences de la directive de navigabilité EASA AD 2024-0187 et du bulletin de service RR TRENT XWB-SB-72-J992 révision C. L'inspection s'inscrit également dans le cadre du programme de maintenance préventive conforme aux normes FAA 14 CFR Part 43 Appendix D et aux recommandations du constructeur.

L'objectif principal de cette inspection était d'évaluer l'état des aubes de turbine après dépassement du seuil de 12,000 heures de vol, avec une attention particulière portée aux signes de fatigue thermique, d'érosion, de corrosion à chaud et de déformation géométrique susceptibles d'affecter l'intégrité structurelle et les performances aérodynamiques des composants.

2. MÉTHODOLOGIE D'INSPECTION

2.1 Protocole d'inspection

L'inspection a été réalisée selon le protocole standardisé RR-HPT-IP-2024-03 avec les équipements suivants: - Endoscope industriel Olympus IV7000-2 avec sonde flexible haute

résolution - Système d'analyse dimensionnelle laser BlueScan XD-450 - Équipement d'analyse par courants de Foucault Eddyfi Ectane 2 - Système d'imagerie thermique FLIR T1020 pour détection des anomalies thermiques

2.2 Zones d'inspection critiques

L'inspection s'est concentrée sur les zones suivantes, identifiées comme critiques selon le bulletin de service RR TRENT XWB-SB-72-J992: - Bord d'attaque des aubes (zones A1-A4) - Bord de fuite (zones F1-F3) - Surface concave (zones C1-C5) - Surface convexe (zones X1-X5) - Pied de sapin (zones P1-P3) - Plateforme (zones L1-L2)

2.3 Critères d'acceptation

Les critères d'acceptation appliqués sont conformes aux spécifications du manuel de maintenance du moteur (EMM) Trent XWB, chapitre 72-52-31, et aux limites de tolérance définies par la norme EASA CS-E 515 relative à l'intégrité structurelle des moteurs.

3. RÉSULTATS DE L'INSPECTION

3.1 État général

L'inspection visuelle initiale a révélé un état général satisfaisant des aubes de turbine, avec présence normale de dépôts carbonés et d'une légère décoloration thermique conforme aux attentes pour le nombre d'heures de vol accumulées. Aucun dommage macroscopique (fissures, déformations ou impacts) n'a été observé à l'œil nu.

3.2 Mesures dimensionnelles

Les mesures dimensionnelles réalisées sur les 68 aubes du premier étage de la turbine haute pression ont révélé les résultats suivants:

| Paramètre | Valeur nominale | Tolérance | Valeur moyenne mesurée | Écart max. | Statut |
|---------------|-----------------|-----------|------------------------|-------------|----------|
| Longueur (mm) | 174.50 | ±0.25 | 174.38 | +0.18/-0.22 | Conforme |
| | 42.80 | ±0.15 | 42.76 | +0.12/-0.14 | Conforme |

| Paramètre | Valeur nominale | Tolérance | Valeur moyenne mesurée | Écart max. | Statut |
|-------------------------------|-----------------|-----------|------------------------|-------------|----------|
| Corde au pied (mm) | | | | | |
| Corde à mi-hauteur (mm) | 38.25 | ±0.15 | 38.19 | +0.11/-0.17 | Conforme |
| Corde au sommet (mm) | 33.70 | ±0.15 | 33.65 | +0.13/-0.18 | Conforme |
| Angle de calage (°) | 36.50 | ±0.30 | 36.62 | +0.28/-0.25 | Conforme |
| Épaisseur bord d'attaque (mm) | 0.95 | ±0.10 | 0.91 | +0.08/-0.12 | Alerte* |
| Épaisseur bord de fuite (mm) | 0.65 | ±0.08 | 0.61 | +0.07/-0.11 | Alerte* |

*Remarque: Les valeurs d'épaisseur minimale mesurées sur les aubes #23 et #47 sont proches des limites de tolérance mais restent acceptables selon les critères du bulletin de service RR TRENT XWB-SB-72-J992 révision C.

3.3 Analyse par courants de Foucault

L'inspection par courants de Foucault a été réalisée sur 100% des aubes avec une attention particulière aux zones de concentration de contraintes. Les résultats sont présentés ci-dessous:

- Aucune indication de fissure détectée
- Micro-porosités détectées sur 3 aubes (#12, #34, #59) dans les zones C3 et X2
- Profondeur maximale des porosités: 0.12mm (inférieure au seuil critique de 0.25mm)
- Signature électromagnétique conforme aux valeurs de référence pour le matériau René N5

3.4 Analyse de l'état de surface

L'analyse de l'état de surface a révélé:

- Rugosité moyenne (Ra) de 0.42µm (valeur acceptable <0.60µm)
- Présence de dépôts d'oxydation sur 80% des aubes, principalement sur les zones C2-C4
- Érosion légère du revêtement thermique sur les bords d'attaque des aubes #08 à #15
- Absence de piqûres de corrosion à chaud
- Intégrité du revêtement anti-oxydation maintenue à 94% (minimum requis: 85%)

4. ANALYSE DES RÉSULTATS

4.1 Évaluation de la conformité

Les résultats de l'inspection indiquent que les aubes de turbine haute pression sont globalement conformes aux exigences de navigabilité définies par les normes EASA CS-E et FAA 14 CFR Part 33. Les écarts dimensionnels mesurés restent dans les tolérances acceptables définies par le constructeur.

L'amincissement observé sur les bords d'attaque et de fuite de certaines aubes est cohérent avec les mécanismes d'usure normale pour le nombre d'heures de vol accumulées. Cependant, les aubes #23 et #47 présentent des valeurs proches des limites minimales acceptables et devront faire l'objet d'une surveillance renforcée lors des prochaines inspections.

4.2 Analyse des mécanismes de dégradation

L'analyse des données recueillies suggère que les principaux mécanismes de dégradation actifs sont:

1. Érosion thermomécanique progressive des bords d'attaque due à l'impact de particules fines
2. Oxydation superficielle des surfaces concaves, cohérente avec l'exposition prolongée aux gaz chauds
3. Fluage thermique minimal, dans les limites acceptables pour le matériau et les conditions d'exploitation

Ces mécanismes sont considérés comme normaux pour le stade de vie des composants et ne compromettent pas l'intégrité structurelle des aubes à court terme.

4.3 Projection de durée de vie résiduelle

Sur la base des taux de dégradation observés et des modèles prédictifs du constructeur, la durée de vie résiduelle estimée des aubes de turbine est de 4,500 heures de vol supplémentaires avant d'atteindre les limites d'usure critiques définies par le bulletin de service RR TRENT XWB-SB-72-J992.

5. RECOMMANDATIONS

À la lumière des résultats de cette inspection, les recommandations suivantes sont émises:

1. Maintien en service des aubes de turbine avec inspection intermédiaire recommandée à 14,500 heures de vol totales
2. Surveillance renforcée des aubes #23 et #47 lors de la prochaine inspection boroscopique programmée
3. Nettoyage des dépôts d'oxydation selon la procédure RR-HPT-CL-2024-05 lors de la prochaine visite de maintenance programmée
4. Documentation des résultats dans le système de suivi de maintenance AIRMAN avec référence croisée au programme de fiabilité moteur
5. Transmission des données d'inspection au constructeur dans le cadre du programme de surveillance continue de la flotte

6. CONCLUSION

L'inspection détaillée des aubes de turbine haute pression du moteur Rolls-Royce Trent XWB-84 équipant l'Airbus A350-900 immatriculé FGTHY a démontré la conformité des composants aux exigences de navigabilité EASA et FAA applicables. Les signes d'usure observés sont cohérents avec l'utilisation et ne compromettent pas la sécurité opérationnelle à court terme.

Le maintien en service des aubes est approuvé sous réserve du respect des recommandations formulées dans ce rapport et de la réalisation des inspections intermédiaires programmées.

7. CERTIFICATION

Je soussigné, certifie que l'inspection détaillée des aubes de turbine a été réalisée conformément aux procédures approuvées et que les résultats consignés dans ce rapport sont exacts et complets.

Inspecteur principal: Jean Dubois

Certification: EASA Part-66 B1/B2 License #FR.66.1042758

Date: 18 mai 2025

Signature: [Signature électronique]

Approbation technique: Marie Laurent

Fonction: Responsable Qualité Maintenance Moteurs

Date: 19 mai 2025

Signature: [Signature électronique]

Ce document est conforme aux exigences de documentation technique définies par l'EASA Part-145 et la FAA AC 43-9C.