



RAPPORT D'ENQUÊTE

**Incident grave de l'avion ATR 42-500
Immatriculé F-GPYF
Exploité par HOP!
survenu le 25 mars 2018
En début de descente vers Aurillac (15)**



Les enquêtes de sécurité

Le BEA est l'autorité française d'enquêtes de sécurité de l'aviation civile. Ses enquêtes ont pour unique objectif l'amélioration de la sécurité aérienne et ne visent nullement la détermination des fautes ou responsabilités.

Les enquêtes du BEA sont indépendantes, distinctes et sans préjudice de toute action judiciaire ou administrative visant à déterminer des fautes ou des responsabilités.

Table des matières

LES ENQUÊTES DE SÉCURITÉ	2
SYNOPSIS	10
ORGANISATION DE L'ENQUÊTE	12
1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE	13
1.1 Déroulement du vol	13
1.2 Tués et blessés	13
1.3 Dommages à l'aéronef	13
1.4 Autres dommages	15
1.5 Renseignements sur le personnel	15
1.6 Renseignements sur l'aéronef	16
1.6.1 Cellule	16
1.6.2 Système d'attache des trappes de train	16
1.6.3 Documentations de référence	18
1.6.4 Alerte CRUISE SPEED LOW	26
1.7 Conditions météorologiques	26
1.8 Aides à la navigation	26
1.9 Télécommunications	26
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	26
1.11 Enregistreurs de bord	27
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	27
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	27
1.14 Incendie	27
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	27
1.16 Essais et recherches	27
1.16.1 Étude des données de l'enregistreur de paramètres	27
1.16.2 Recherche et récupération des éléments de la trappe	30
1.16.3 Examen technique des pièces d'attaches des trappes du train principal gauche	32
1.16.4 Test sur avion	35
1.16.5 Contrôles et vérifications sur la flotte ATR 42-500 de l'exploitant HOP!	36
1.16.6 Présence des écrous sur l'ATR 42-500	38
1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion	39
1.17.1 HOP!	39
1.17.2 Rheinland Air Service	40

1.18 Renseignements supplémentaires	41
1.18.1 Bonnes pratiques sur le dimensionnement des assemblages vissés	41
1.18.2 Règles de certification concernant les assemblages vissés	42
1.18.3 Continuing Airworthiness Review Item (CARI) 20-01 du 30/08/2018	43
1.18.4 Témoignages des PNT	44
1.18.5 Témoignage du PNC	44
1.18.6 Événements similaires	45
1.18.7 Actions de sécurité entreprises depuis l'incident	45
1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces	46
2 - ANALYSE	47
2.1 Scénario	47
2.2 Facteurs pouvant induire une perte d'écrou	48
2.2.1 Choix de l'écrou	48
2.2.2 Application d'un couple de serrage	49
2.2.3 Écrou défaillant	49
2.3 Actions de contrôle des assemblages	50
2.3.1 Détection d'un écrou inadéquat	50
2.3.2 Détection d'un dévissage	50
3 - CONCLUSIONS	51
3.1 Faits établis par l'enquête	51
3.2 Facteurs contributifs	52
4 - RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ	53
4.1 Assemblages vissés : choix des P/N y compris en alternative et couple de serrage	53
4.2 Politique de réutilisation des écrous autofreinés	54
ANNEXES	55

Table des tableaux

Tableau 1 : renseignements sur l'équipage de conduite	<u>15</u>
Tableau 2 : renseignements sur l'aéronef	<u>16</u>
Tableau 3 : liste des documents utilisés dans le présent rapport en vigueur à la date de l'incident	<u>18</u>
Tableau 4 : liste des opérations de maintenance affectant les trappes de train et leurs dernières dates de réalisation avant l'incident	<u>19</u>
Tableau 5 : termes utilisés pour les P/N	<u>20</u>
Tableau 6 : P/N des vis et des écrous référencés à l'IPC	<u>21</u>
Tableau 7 : plages de couple de serrage	<u>49</u>

Table des figures

Figure 1 : Dommages au niveau de l'emplanture de l'aile et absence de la trappe du TPG (source : BEA)	<u>14</u>
Figure 2 : Dommages au niveau du volet (source : BEA)	<u>14</u>
Figure 3 : Partie restante de l'assemblage attache arrière (source : BEA)	<u>15</u>
Figure 4 : Partie restante de l'assemblage attache avant (source : BEA)	<u>15</u>
Figure 5 : Trappe du TPD du F-GPYF (source : BEA)	<u>16</u>
Figure 6 : Portes de train principal (source : FCOM ATR et BEA)	<u>16</u>
Figure 7 : Attaches et charnières de la trappe du TPG (source : ATR et BEA)	<u>17</u>
Figure 8 : Système d'attache de la trappe (source : JJC 52-81-00 RAI 10000 ATR et BEA)	<u>17</u>
Figure 9 : Extrait du SPET issue 10 en date de Décembre 2012 (source : ATR)	<u>23</u>
Figure 10 : Critère de réutilisation des écrous (source : SRM ATR)	<u>25</u>
Figure 11 : Extrait de l'AMM chapitre 20-21-13 (source : ATR)	<u>25</u>
Figure 12 : Localisation de la perte de trappe à l'aide des paramètres de vol (source : BEA)	<u>28</u>
Figure 13 : Alertes Cruise Speed Low (source : BEA)	<u>29</u>
Figure 14 : Étude de la traînée (source : BEA)	<u>29</u>
Figure 15 : Localisation des débris retrouvés et zone de recherche (source : BEA et fond de carte Google Earth)	<u>31</u>
Figure 16 : Éléments de trappe retrouvés (source : BEA)	<u>31</u>
Figure 17 : Éléments de l'attache avant (source : BEA)	<u>32</u>
Figure 18 : Éléments de l'attache arrière (source : BEA)	<u>33</u>
Figure 19 : Carénage arrière - face intérieure (source : BEA)	<u>34</u>
Figure 20 : Examen de la biellette (source : ATR et BEA)	<u>34</u>
Figure 21 : Examen de la charnière n°1 (source : BEA)	<u>35</u>
Figure 22 : Test ATR sur MSN002 (source : ATR)	<u>35</u>
Figure 23 : Définition de la surface d'appui et de la hauteur H d'un écrou (source : BEA)	<u>37</u>
Figure 24 : Rotation du montage (source : ATR et BEA)	<u>43</u>
Figure 25 : Extrait de la table 1 du SRM514030-00-001-A01 page 14 (source : ATR)	<u>73</u>
Figure 26 : Extrait de la table 3 du SRM514030-00-001-A01 page 41 (source : ATR)	<u>73</u>
Figure 27 : Extrait de la table 2 du SRM514030-00-001-A01 page 29 (source : ATR)	<u>73</u>
Figure 28 : Extrait de la table 1 du SRM514030-00-001-A01 page 6 (source : ATR)	<u>74</u>
Figure 29 : Extrait de la table 2 du SRM514030-00-001-A01 page 26 (source : ATR)	<u>74</u>

<u>Figure 30</u> : Extrait de la table 3 du SRM514030-00-001-A01 page 38 (source : ATR)	<u>74</u>
<u>Figure 31</u> : Extrait de la table 1 du SRM514030-00-001-A01 page 14 (source : ATR)	<u>74</u>
<u>Figure 32</u> : Extrait de la table 2 du SRM514030-00-001-A01 page 29 (source : ATR)	<u>75</u>
<u>Figure 33</u> : Extrait de la table 3 du SRM514030-00-001-A01 page 41 (source : ATR)	<u>75</u>
<u>Figure 34</u> : Extrait de la table 1 du SRM514030-00-001-A01 page 18 (source : ATR)	<u>75</u>
<u>Figure 35</u> : Extrait de la table 2 du SRM514030-00-001-A01 page 34 (source : ATR)	<u>75</u>
<u>Figure 36</u> : Extrait de la table 3 du SRM514030-00-001-A01 page 43 (source : ATR)	<u>75</u>
<u>Figure 37</u> : Extrait de la table 1 du SRM514030-00-001-A01 page 13 (source : ATR)	<u>76</u>
<u>Figure 38</u> : Extrait de la table 3 du SRM514030-00-001-A01 page 40 (source : ATR)	<u>76</u>
<u>Figure 39</u> : Extrait de l'AMM 20-21-12 Page 28 - Aug 01/08 (source : ATR)	<u>77</u>
<u>Figure 40</u> : Extrait de l'AMM 20-21-12 Page 29 - Aug 01/08 (source : ATR)	<u>77</u>
<u>Figure 41</u> : Extrait du SRM 51-25-02 page 10 (source : ATR)	<u>78</u>

Acronymes	Version Anglaise	Version Française
AESA	European Aviation Safety Agency (EASA)	Agence européenne de la sécurité aérienne
AFNOR	-	Association française de normalisation
AIA	Aerospace Industries Association (US)	-
AMASIS	Aircraft Maintenance And Spares Information System	-
AMM	Aircraft Maintenance Manual	Manuel de maintenance
AMOS	Airline Maintenance & Operational Systems	-
AOA	Angle Of Attack	Incidence
AOM	All Operators Message	Message à tous les opérateurs
APM	Aircraft Performance Monitoring	-
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung	Organisme d'enquête de sécurité de l'Allemagne
CARI	Continuing Airworthiness Review Item	-
CdB	Captain	Commandant de bord
CRES	Corrosion Resistant Steel	Acier inoxydable
CRNA/SO	En-route Control Center (South-West)	Centre en route de la Navigation aérienne Sud-Ouest
CVR	Cockpit Voice Recorder	Enregistreur phonique
Cx	Drag coefficient	Coefficient de traînée
DM	Data Modules	-
DOA	Design Organisation Approval	Agrément d'organisme de conception
EDS	Energy Dispersive X-ray Spectroscopy	Spectrographie par rayons X à dispersion d'énergie
FAA	Federal Aviation Administration	Agence américaine en charge de l'Aviation civile
FCOM	Flight Crew Operating Manual	Manuel d'exploitation des équipages
FDR	Flight Data Recorder	Enregistreur de paramètres
FL	Flight Level	Niveau de vol
IAS	Indicated Air Speed	Vitesse indiquée
IPC	Illustrated Parts Catalog	-

Acronymes	Version Anglaise	Version Française
JAR	Joint Aviation Requirements	Exigences aéronautiques communes
JIC	Job Instruction Card	Carte de travail
MEB	Scanning Electron Microscope (SEM)	Microscope électronique à balayage
MLG	Main Landing Gear	Train d'atterrissement principal
MPD	Maintenance Planning Document	Document de planification de la maintenance
MRO	Maintenance Repair Organisation	-
MSN	Manufacturing Serial Number	Numéro de série assigné par le constructeur
OACI	International Civil Aviation Organization (ICAO)	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OPL	First Officer (FO)	Officier Pilote de Ligne (Copilote)
P/N	Part Number	Référence de pièce
P/N ALT SRM (or SPET)	Alternative P/N referenced in SRM (or SPET)	P/N alternatif référencé au SRM ou au SPET
P/N IPC	P/N referenced in IPC	P/N référencé à l'IPC
P/N OPT IPC	Optional P/N referenced in IPC	P/N optionnel référencé à l'IPC
PF	Pilot Flying	Pilote aux commandes
PM	Pilot Monitoring	-
PNC	Cabin crew	Personnel navigant commercial
PNT	Flight crew	Personnel navigant technique
QNH	-	Calage altimétrique requis pour lire une altitude
QRH	Quick Reference Handbook	-
RAS	Rheinland Air Service	-
RPO	-	Responsable de la permanence opérationnelle
SPET	Standard Part Equivalence Table	-
SRM	Structural Repair Manual	-
TCU	Tower Cumulus	Cumulus bourgeonnant
TLB	Technical Log Book	Compte rendu matériel (origine DSAC)

Acronymes	Version Anglaise	Version Française
TPD (R MLG)	Right Main Landing Gear (R MLG)	Train principal droit
TPG (L MLG)	Left Main Landing Gear (L MLG)	Train principal gauche

Synopsis

Heure	À 19 h 18 ⁽¹⁾
Exploitant	HOP!
Nature du vol	Transport aérien commercial
Personnes à bord	Commandant de bord (PM) ; Officier Pilote de Ligne (PF) ; 1 PNC ; 48 passagers
Conséquences et dommages	Avion endommagé

⁽¹⁾ Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y ajouter 2 h pour obtenir l'heure en France métropolitaine le jour de l'événement.

Perte en vol de la trappe du train principal gauche, collision de la trappe avec le fuselage

L'équipage a décollé vers 18 h 30 de Paris-Orly et a effectué au cours de la montée un premier palier au FL110.

Les constats effectués au cours de l'enquête sur les différentes attaches de la trappe du train principal gauche de l'avion ont permis d'établir que l'écrou de l'attache arrière de la trappe s'est dévissé en service jusqu'à sa perte, conduisant la trappe de train à se retrouver légèrement désalignée du fuselage. Ce désalignement a induit un excédent de traînée sur l'avion. Cette position anormale de la trappe a engendré également des efforts supplémentaires sur les autres points d'attache de la trappe de train, entraînant leur rupture successive en vol.

En début de descente vers le FL180, la trappe a basculé contre le fuselage, générant un choc ressenti par les personnes à bord de l'avion, puis s'est séparée du reste de l'avion engendrant les autres dommages constatés sur l'aéronef :

- carénages d'emplanture de l'aile endommagés ;
- rayures sur un hublot ainsi que sur le revêtement environnant ;
- déchirure du revêtement de l'intrados du volet gauche ;
- rayures sur le revêtement de l'intrados de l'aile gauche ;
- impacts de faibles dimensions sur le plan fixe vertical.

Ne comprenant pas ce qui venait de se passer mais voyant que les paramètres de vol étaient normaux, l'équipage a décidé de poursuivre la descente puis l'atterrissage à Aurillac. Ce n'est qu'au parking que les dégâts ont pu être constatés sur l'avion.

L'enquête n'a pas permis de mettre en évidence la cause exacte de la perte de l'écrou de l'attache arrière de la trappe de train de principal menant à la perte de la trappe. L'enquête a toutefois mis en évidence qu'il était probable que l'écrou en question, ainsi que le couple de serrage appliqué, étaient en inadéquation avec la configuration prévue par ATR lors de la conception initiale de l'assemblage.

L'enquête a également montré qu'un manque d'information dans la documentation de maintenance générique du constructeur et la difficulté à y identifier les informations pertinentes peuvent conduire, par des combinaisons de facteurs organisationnels et humains, à l'installation de combinaisons vis/écrou en dehors de l'état de l'art. Les conséquences de ces écarts aux bonnes pratiques sur la tenue de l'assemblage n'ont pu être déterminées précisément au cours de l'enquête mais peuvent tendre vers une perte de fonction de l'assemblage.

Ainsi, le BEA émet deux recommandations de sécurité à l'attention d'ATR. Celles-ci portent sur une revue de la documentation de maintenance générique du constructeur concernant les assemblages vissés, et particulièrement sur les notions de couple de serrage à appliquer, d'interchangeabilité des pièces et de réutilisation des écrous auto-freinés.

ORGANISATION DE L'ENQUETE

Dans la soirée du 25 mars 2018, le BEA a été notifié par le Responsable de Permanence Opérationnel (RPO) du CRNA/SO de l'événement et a déclenché une enquête de sécurité.

Le 27 mars 2018, une équipe constituée de trois enquêteurs du BEA s'est rendue sur l'aéroport d'Aurillac pour effectuer les premières constatations sur l'avion. Les informations préliminaires recueillies ont conduit le BEA à classifier cet événement en tant qu'incident grave.

Conformément aux normes et pratiques recommandés de l'Annexe 13 de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) et au Règlement (UE) n°996/2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, le BEA a associé à l'enquête de sécurité :

- Les conseillers techniques auprès du BEA :
 - ATR en tant que constructeur de l'avion ;
 - La société HOP! en tant qu'exploitant et opérateur de maintenance de l'aéronef ;
 - L'AESA en tant qu'autorité de certification.
- Le BFU, autorité allemande d'enquête de sécurité en tant que représentant accrédité, au titre de l'opérateur de maintenance Rheinland Air Service (RAS). Ce dernier a nommé un conseiller technique auprès du BFU pour l'enquête de sécurité.

1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Le 25 mars 2018, l'ATR 42-500 immatriculé F-GPYF et exploité par HOP! effectue le vol d'indicatif A5 235 depuis l'aéroport Paris-Orly (94) à destination de l'aéroport d'Aurillac (15) dans le cadre d'un vol de transport commercial de passagers régulier. Sont à bord 48 passagers et 3 membres d'équipage, dont un membre d'équipage de cabine (PNC). L'équipage de conduite est composé d'un Commandant de Bord (CDB), PM sur cette étape, et d'un Officier Pilote de Ligne (OPL) en place droite en tant que PF.

L'équipage décolle vers 18 h 30 et effectue un premier palier au FL110. Au cours de ce palier, l'alerte CRUISE SPEED LOW⁽²⁾ se déclenche une première fois pour une durée de 60 s.

Environ deux minutes après la mise en croisière au FL190, l'alerte CRUISE SPEED LOW se déclenche une seconde fois et reste active pendant toute la croisière. L'équipage applique la procédure du manuel d'exploitation et vérifie notamment la vitesse. La vitesse indiquée est de 212 kt au lieu des 224 kt donnés par le QRH pour les conditions du vol de l'événement.

Le vol continue sans incident jusqu'au début de descente, où un choc accompagné d'un bruit sourd est ressenti à bord par l'équipage et les passagers vers le FL180. La trajectoire de l'avion au pilote automatique ne présente pas de déviation significative. L'équipage vérifie qu'aucun paramètre de vol n'est anormal puis continue de manière nominale sa descente vers Aurillac.

Après l'atterrissement, l'équipage constate des dommages sur l'avion, notamment sur le carénage au niveau de l'emplanture de l'aile gauche, ainsi que l'absence de la trappe du train principal gauche.

⁽²⁾ Cette alerte est activée par l'APM lorsque les performances aérodynamiques de l'avion sont partiellement dégradées, voir §1.6.4.

1.2 Tués et blessés

Il n'y a eu aucun tué ou blessé lors de l'événement.

1.3 Dommages à l'aéronef

Les dommages relevés sur l'avion sont les suivants :

- absence de l'ensemble des éléments composant la trappe de train principal gauche (TPG) ;
- carénages d'emplanture de l'aile endommagés ;
- rayures sur un hublot ainsi que sur le revêtement environnant ;
- déchirure du revêtement de l'intrados du volet gauche ;
- rayures sur le revêtement de l'intrados de l'aile gauche ;
- impacts de faibles dimensions sur le plan fixe vertical.



Source : BEA

Figure 1 : Dommages au niveau de l'emplanture de l'aile et absence de la trappe du TPG



Source : BEA

Figure 2 : Dommages au niveau du volet

Les deux photos suivantes montrent la partie restante des assemblages des attaches avant et arrière de la trappe du TPG tels qu'observés après le démontage des carénages qui les protègent⁽³⁾.

- À l'arrière, la vis est sortie de son logement, l'écrou et la rondelle servant à la maintenir en place sont manquants.
- À l'avant, la vis a été retrouvée en place, avec une partie rompue de l'attache mâle de la trappe et un fil frein est également présent sur la vis.

⁽³⁾ Se référer au §1.6.2 pour le détail du système d'attache et de ses éléments.



Source : BEA

Figure 3 : Partie restante de l'assemblage attache arrière



Source : BEA

Figure 4 : Partie restante de l'assemblage attache avant

1.4 Autres dommages

Sans objet.

1.5 Renseignements sur le personnel

Données au 25/03/2018	CDB	OPL
Date d'entrée chez l'exploitant	16/12/2002	18/10/2017
Qualification de type et validité	ATR 42/72 Validité 31/01/2019	ATR 42/72 Validité 31/12/2018
Classe médicale et validité	Classe 1 Validité 30/11/2018	Classe 1 Validité 08/09/2018
Expérience totale	7 294 heures de vol	414 heures de vol
Expérience totale sur le type	6 700 heures de vol	132 heures de vol
Expérience récente (3 derniers mois)	151 heures de vol	132 heures de vol

Tableau 1 : Renseignements sur l'équipage de conduite

1.6 Renseignements sur l'aéronef

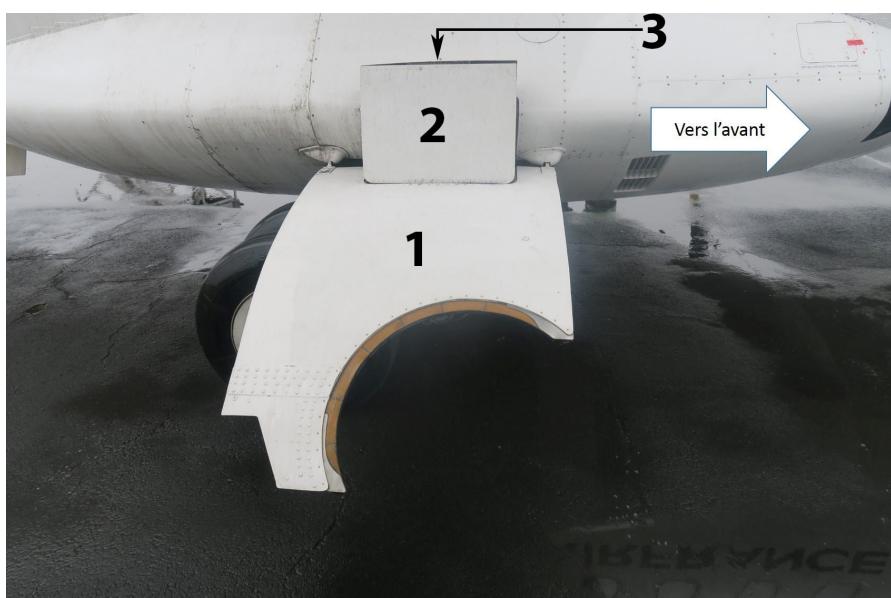
1.6.1 Cellule

Constructeur	ATR
Type	ATR 42-500
Numéro de série	495
Immatriculation	F-GPYF
Mise en service	1996
Utilisation au 25/03/2018	35 123 heures de vol et 34 805 cycles

Tableau 2 : Renseignements sur l'aéronef

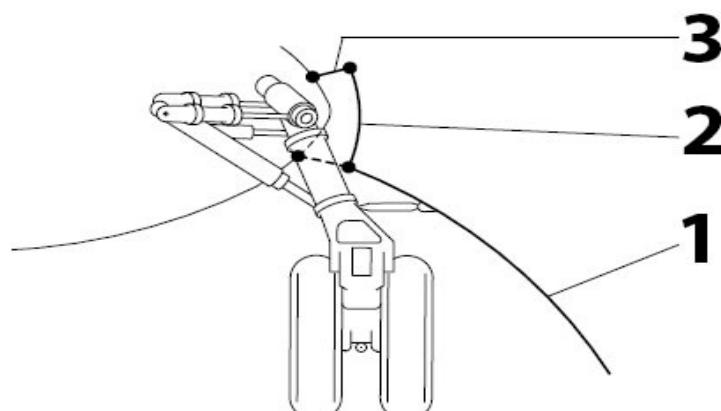
1.6.2 Système d'attache des trappes de train

1.6.2.1 Généralités



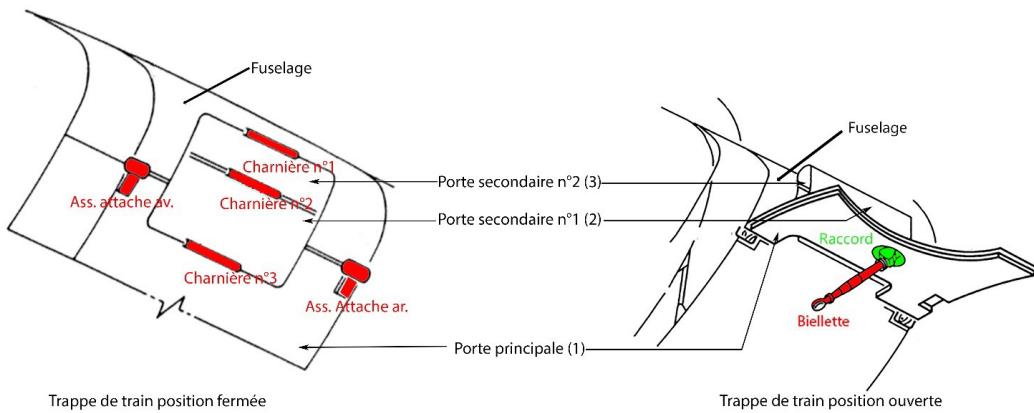
Source : BEA

Figure 5 : Trappe du TPD du F-GPYF



Source : FCOM ATR et BEA

Figure 6 : Portes de train principal



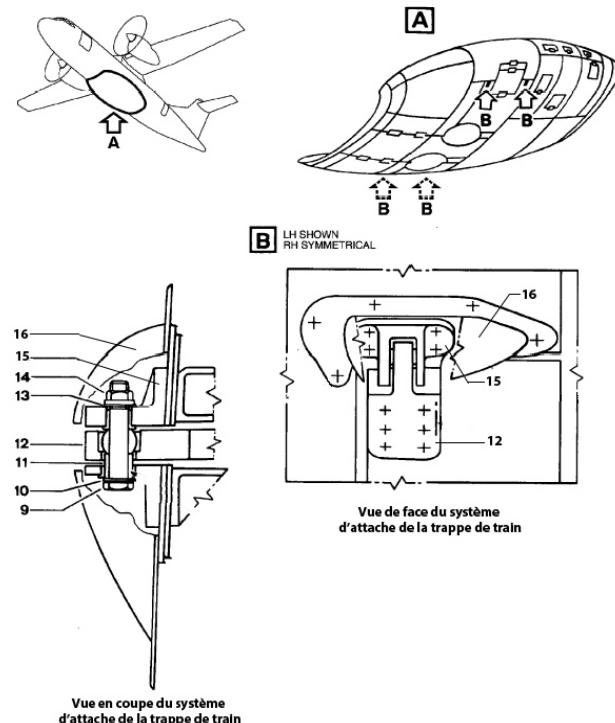
Source : ATR et BEA

Figure 7 : Attachés et charnières de la trappe du TPG

Sur ATR 42, le système de trappe de train principal (voir [Figure 5](#)) se compose de trois portes comme indiqué sur la [Figure 6](#) : porte principale (1), porte secondaire n°1 (2) et porte secondaire n°2 (3). La porte principale est reliée à la jambe du train d'atterrissage par une biellette permettant sa manœuvre. Les attaches mâles de la trappe principale sont reliées et articulées (liaison pivot) au fuselage (attaches femelles) au travers de deux assemblages vissés (avant et arrière). Chaque assemblage est protégé par un carénage. Les portes sont reliées entre elles et au fuselage par des charnières (voir Figure 7).

Le système de trappe de train principal pèse environ 15 kg.

1.6.2.2 Assemblage des attachés des trappes des trains principaux



Source : JIC 52-81-00 RAI 10000 ATR et BEA

Figure 8 : Système d'attache de la trappe

Les assemblages des attaches avant et arrière sont constitués de la même manière, à savoir pour chacun d'entre eux (voir [Figure 8](#)) :

- d'un écrou autofreiné tout métal (14) ;
- de deux rondelles (13 et 10) ;
- d'une attache mâle fixée du côté de la porte principale (12) ;
- d'une attache femelle fixée du côté du fuselage (15)
- d'une bague (11) ;
- d'une vis avec sa tête dirigée vers l'arrière de l'aéronef (9).

L'ensemble est protégé par un carénage (16).

Les deux assemblages sont lubrifiés avec de la graisse synthétique.

Il existe cependant des différences entre les assemblages avant et arrière, notamment sur les dimensions des diverses pièces, les matériaux et les protections utilisées.

Les assemblages en question ne sont pas considérés comme critiques⁽⁴⁾ par le constructeur et le certificateur.

(4) En certification, une pièce critique est une pièce dont la rupture peut mener à un événement hazardous ou catastrophic pour l'avion.

1.6.3 Documentations de référence

Tous les documents cités dans cette section sont ceux qui étaient en vigueur au moment de l'incident. Les documents ainsi que leur date de publication sont récapitulés ci-dessous :

Référence	Éditeur	Intitulé	Dernière date de révision en vigueur à la date de l'incident
AMM 20-21-12	ATR	TIGHTENING TORQUES OF STANDARD THREADED FASTENERS	Les pages ont diverses dates de révision (Feb 01/02, Aug 01/08, Mar 01/11, Apr 01/00, Oct 01/16)
JIC 52-81-00	ATR	MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION	1 ^{er} janvier 2018
SPET	ATR	Standard Parts Equivalence Table	Version 10 en date de décembre 2012
SRM 51-25-02	ATR	INSTALLATION AND FIT CONDITIONS OF BOLTS (TORQUE), NUTS, RIVETS	1 ^{er} juin 2017
SRM 51-40-03	ATR	ALPHANUMERIC NUTS CROSS-REFERENCE-INDEX	1 ^{er} juin 2013
SRM 51-40-30	ATR	NUTS AND ALTERNATIVES	1 ^{er} octobre 2014
NAS1291	AIA	NUT, SELF-LOCKING, HEXAGON, LOW HEIGHT, LIGHT WEIGHT	Révision 14 en date du 31 mars 2014
NASM21043	AIA	NUT, SELF-LOCKING, 800 DEGREES F, REDUCED HEXAGON, REDUCED HEIGHT, RING BASE, CRES	Edition 3 en date du 31 janvier 2013

NASM25027	AIA	NUT, SELF-LOCKING, 250 F, 450 F AND 800 F	Révision 1 en date du 21 décembre 2012
NSA5050	EADS AIRBUS ⁽⁵⁾	NUT – SELF LOCKING, CAPTIVE WASHER	Révision P en date de janvier 2001
NTA11155	Aeritalia ⁽⁶⁾	BOLT, 12 POINT HEAD, 200ksi MIN TENSILE, A286 CRES (NOMINAL AND OVERSIZE)	Révision 8 en date du 26 mai 1994
NTA11159	Aeritalia	BOLT HEX HEAD 95 KSI SHEAR SHORT THREAD A286	Edition C en date de juin 1984

Tableau 3 : Liste des documents utilisés dans le présent rapport en vigueur à la date de l'incident

L’Aircraft Maintenance Manual (AMM) est le document qui détaille comment les tâches de maintenance sur un aéronef doivent être accomplies. Cela comprend des éléments tels que les vérifications fonctionnelles et l’entretien de l’avion, mais exclut notamment les réparations et modifications structurelles qui figurent dans le Structural Repair Manual (SRM).

Une carte de travail (JIC) est un document qui détaille une opération de maintenance spécifique. Elle est rattachée à l’AMM.

Les alternatives et interchangeabilité des pièces sont accessibles via deux documents : le Standard Parts Equivalence Table (SPET) ou le SRM. ATR précise que le SRM est le document de référence.

1.6.3.1 Généralités

Les dernières opérations de maintenance relatives aux trappes de trains d’atterrissement du F-GPYF sont récapitulées dans le Tableau 4 ci-dessous. Les dossiers de travail de ces opérations ne comportent aucunes remarques particulières liées aux trappes des trains principaux.

Opérations de maintenance	Butées calendaires / horaires prévues par le constructeur	Date de la réalisation de l’opération sur le F-GPYF
Inspection visuelle générale ⁽⁷⁾	Tour avion hebdomadaire	19 mars 2018
Lubrification	3 mois ou 600 atterrissages	23 janvier 2018
Inspection visuelle générale	Check A	Décembre 2017
Inspection visuelle générale	Check C	Juillet 2016
Échange standard des trains d’atterrissement	Tous les 9 ans ou 20 000 atterrissages	Juin 2015

⁽⁵⁾ Aujourd’hui Airbus Commercial Aircraft.

⁽⁶⁾ Aujourd’hui Leonardo.

Tableau 4 : Liste des opérations de maintenance affectant les trappes de train et leurs dernières dates de réalisation avant l’incident

À la date de l'incident et dans le cadre de la maintenance préventive, seul l'échange standard des trains d'atterrissement nécessite la dépose/repose des trappes des trains principaux. Il est alors nécessaire de déposer/reposer les carénages ainsi que les assemblages vissés. Seule la dépose du carénage permet de vérifier visuellement la présence et/ou la position des écrous.

La JIC 52-81-00 (disponible en [annexe 1](#)) précise les tâches devant être effectuées pour réaliser la dépose/repose de la trappe d'un train d'atterrissement principal. Cette carte de travail a été appliquée pour la dernière fois sur le F-GPYF en juin 2015 en Allemagne par l'atelier de maintenance agréé Rheinland Air Service (RAS).

1.6.3.2 Dépose/repose des trappes des trains principaux

1.6.3.2.1 Carte de travail JIC 52-81-00

Dans la JIC 52-81-00 intitulée « *Main Landing gear doors removal and installation* » est notamment indiqué pour le remontage des assemblages avant et arrière de la trappe : « *place the MLG doors male hinges (12) in the female hinges (8) and install bushings (11), bolts (9) with washers (10) (13), nuts (14) and tighten them* »⁽⁸⁾.

(8) Les numéros entre parenthèses correspondent à ceux présents sur la [Figure 8](#).

ATR distingue dans sa documentation les couples de serrage spécifiques qui sont directement définis dans les cartes de travail, des couples de serrage non spécifiques (ou basiques) qui sont définis dans des documents génériques tels que l'AMM ou le SRM.

La JIC 52-81-00, ne mentionne pas de couples de serrage spécifiques à appliquer aux écrous, ceux-ci sont donc des couples de serrage basiques.

Pour obtenir les couples de serrage basiques au travers de la documentation générique, il est nécessaire d'avoir au moins, les P/N de la vis et de l'écrou. Dans certains cas, l'état de lubrification initial de la vis et/ou la présence ou non de lubrification spécifique de l'assemblage doit aussi être pris en compte.

1.6.3.2.2 Détermination des P/N des pièces

Dans la suite du rapport, on utilisera les termes suivants :

P/N IPC	P/N référencé à l'IPC
P/N OPT IPC	P/N optionnel référencé à l'IPC
P/N ALT	P/N alternatifs référencés au SRM ou au SPET. <i>On pourra éventuellement préciser la provenance du P/N en ajoutant le suffixe SRM ou SPET</i> <i>Ex : P/N ALT SRM : P/N alternatifs référencés au SRM</i>

Tableau 5 : Termes utilisés pour les P/N

L'IPC 52-81-50 (fourni en [annexe 2](#)) précise les P/N et les descriptions de l'ensemble des composants des assemblages avant et arrière. Le [tableau 6](#) précise ces éléments pour les vis et les écrous. Bien que ce ne soit pas précisé dans la JIC et l'IPC, le standard MS21043 correspond à un écrou autofreiné.

Position	Écrou		Vis	
	Type	P/N	Type	P/N
Avant	P/N IPC	MS21043-6	P/N IPC P/N OPT IPC	NTA11155-6H26 BACB30LE6H26
Arrière	P/N IPC	MS21043-5	P/N IPC P/N OPT IPC	NTA11159-5SU22 BACB30LJ5SU22

Tableau 6 : P/N des vis et des écrous référencés à l'IPC

Ainsi d'après l'IPC, les vis avant et arrière ont chacune un P/N optionnel référencé à l'IPC et les écrous n'en ont pas.

ATR a toutefois autorisé des P/N alternatifs (P/N ALT) au P/N IPC de l'écrou au travers de deux documents :

- Le SRM chapitre 51-40-30 intitulé « *Nuts and alternatives* » ;
- Le SPET. Le SPET indique que son contenu est basé sur les documents approuvés DOA dont le SRM fait partie. Le SRM est donc le document de référence.

Pour les P/N IPC des écrous, il n'y a pas de marquage requis du P/N (même partiel) sur l'écrou contrairement aux vis de P/N IPC et P/N OPT IPC. Selon le standard, seul le symbole du fabricant de l'écrou est requis.

1.6.3.2.3 Alternatives possibles à l'écrou de P/N standard MS21043

Pour des pièces simples et utilisées couramment dans le monde de l'aéronautique telles que les écrous et les vis, il existe souvent de multiples spécifications techniques appelées normes ou standards⁽⁹⁾ qui peuvent répondre au besoin fonctionnel recherché par les industriels. Ces standards peuvent être développés par des sociétés privées, des organismes de normalisation nationaux ou encore des associations.

Classiquement, ces standards, bien qu'utilisés, ne sont pas accessibles dans la documentation de maintenance et les opérateurs de maintenance n'ont pas vocation à consulter ces documents. Seules des informations relatives à la codification des P/N sont retranscrites dans la documentation ATR.

Les standards étant édités par des organismes différents, la façon de codifier les P/N peut être différente. Un P/N est en général la concaténation du nom du standard associé à des caractères qui permettent de définir les caractéristiques de la pièce de manière unique telles qu'un diamètre, une nature de protection, un matériau, etc. C'est à partir du P/N du standard que l'approvisionnement est réalisé⁽¹⁰⁾.

⁽⁹⁾ En français, il existe une distinction entre les termes « *standard* » et « *norme* ». Une norme signifie en effet qu'elle est éditée par un organisme de normalisation reconnue par un état (ex : l'AFNOR), alors que les standards sont édités par d'autres organismes (association, entreprises privées, etc.). En anglais le terme « *standard* » englobe les deux définitions. Seul le terme standard sera utilisé dans la suite du rapport.

⁽¹⁰⁾ Pour les écrous de P/N MS21043-5 ou MS21043-6, le standard associé a pour nom NASM21043 et non MS21043. Le standard MS21043 initialement édité par le département de la Défense des États-Unis (Military Standard) est en effet maintenant édité par AIA, ce qui a induit un changement de nom. Dans l'esprit de faciliter la lecture, dans le présent rapport le standard MS21043 fera référence au standard NASM21043 référencé au Tableau 3.

1.6.3.2.3.1 Alternatives à partir du Structural Repair Manual (SRM)

Le SRM chapitre 51-40-30 « *Nuts and alternatives* » est principalement composé de trois tables (un exemple de lecture de ces tables est disponible en [annexe 3](#)), les extraits du SRM pour les différents standards sont donnés dans l'[annexe 4](#))

- La 1^{ère} qui permet de définir les standards alternatifs autorisés ;
- La 2^{ème} qui permet de décrire comment sont codifiés les P/N (en particulier la localisation des codes pour le matériau et la protection dans l'écriture du P/N) suivant le standard indiqué dans la table 1 ;
- La 3^{ème} qui permet de donner les codes pour les matériaux et les protections qui sont utilisés dans la codification du P/N.

Il existe aussi des indications importantes en préambule à ces trois tables. En particulier, il est indiqué que le diamètre, la longueur de serrage et la protection doivent être identique au P/N IPC :

“The fastener code in the following chapters are limited to the type of fasteners. Cross-references and alternatives do not include diameter, grip length and sometimes also surface finish. These parameters have to be the same as original ones when the alternative fastener is chosen.”

Au cours de l'enquête et bien que ce ne soit pas indiqué dans la documentation de maintenance, ATR a précisé que conformément aux règles de l'art, le matériau doit aussi être identique lors du choix de l'alternative.

Pour définir un P/N ALT, il est donc nécessaire de connaître certaines caractéristiques du P/N IPC telles que le matériau et la protection. Dans le SRM, en prenant comme entrée le standard MS21043 (standard des P/N IPC de l'écrou avant et arrière), la lecture des trois tables permet de définir que l'écrou n'existe que dans une seule combinaison possible matériau/protection : matériau en acier résistant à la corrosion (CRES⁽¹¹⁾ ou acier inoxydable) avec une protection argent. Ces informations sont cohérentes avec le standard MS21043.

Pour l'entrée du P/N IPC de l'écrou de l'attache arrière MS21043-5 (resp. MS21043-6 à l'avant), quatre standards sont proposés en alternative. Contrairement au standard MS21043 qui n'existe que dans une seule combinaison matériau/protection possible, au moins trois des quatre standards en alternative du MS21043 sont disponibles dans plusieurs combinaisons. En respectant le critère de la protection identique (i.e. argent) au P/N IPC, le SRM permet de retenir une seule combinaison pour chaque standard :

- P/N ALT NAS1291***⁽¹²⁾ en acier inoxydable avec protection argent ;
- P/N ALT NTA11354-5 (resp. NTA11354-6) en acier avec protection argent ;
- P/N ALT NSA5050-5C (resp. NSA5050-6C) en acier inoxydable avec protection argent.

Le 4^{ème} standard BACN10JC n'est pas référencé dans les tables 2 et 3 du SRM 51-40-30. Néanmoins, le SRM indique que les standards BACN10JC et NTA11354 sont des références croisées (cross-references⁽¹³⁾). Ainsi, les pièces suivant ces standards sont censées être identiques.

⁽¹¹⁾ Corrosion Resistant Steel suivant la documentation ATR.

⁽¹²⁾ Le standard NAS1291 n'est pas disponible dans la table 2 du SRM. Ainsi, il n'est pas possible de déduire les codifications complètes des P/N associées aux deux combinaisons possibles sur la seule base du SRM. Le symbole *** indique ici que la codification du P/N est incomplète.

⁽¹³⁾ Cf SRM: “*Cross-References are different codes for the same attachment. The code is different because it is not the same specification (ASN-A or NTA ...) but the fastener is strictly identical (material, dimension, form, function) because every specification refer to the same manufacturer codes*”.

1.6.3.2.3.2 Alternative à partir du Standard Part Equivalence Table (SPET)

Le SPET définit aussi des alternatives. Contrairement au SRM, une seule table est disponible. À l'aide de l'entrée MS21043-5 (resp. MS21043-6), la lecture de la table de la partie A permet d'obtenir directement une brève description de la pièce, du matériau, de la protection ainsi que la référence des écrous en alternatives.

Dans le cas présent, cinq alternatives sont autorisées. Préférentiellement (P/N leader) NAS1291C5 (resp. NAS1291C6), et en « *optional without restriction* »⁽¹⁴⁾ H41-5, PLH55, RH30C5 et 180001-5 (resp. H41-6, PLH56, RH30C6 et 180001-6).

ATR indique que ces différentes références répondent à différents fournisseurs, mais que toutes ces références correspondent au standard NASM21043 et donc au P/N MS21043-5 (resp. 21043-6).

⁽¹⁴⁾ La colonne « *optional without restriction* » correspond à des références fournisseurs.

Basic P/N	STANDARD PARTS				OPTIONAL PARTS	
	Designation	Form	Material	Protection	Alternative Leader P/N	Optional without restriction
MS21043-5	NUT-SELF-LOCKING	Hexagonal Reduced	CRS	Silver Plated	NAS1291C5	H41-5 PLH55 RH30C5 180001-5
MS21043-6	NUT-SELF-LOCKING	Hexagonal Reduced	CRS	Silver Plated		H41-6 PLH56 180001-6 RH30C6

Source : ATR

Figure 9 : Extrait du SPET issue 10 en date de Décembre 2012

1.6.3.2.3.3 Erreurs de transcription des standards dans la documentation

Note : Dans le cadre de l'enquête, seuls les standards liés à l'écrou de P/N IPC MS21043 et ses alternatives ont été analysés.

SRM chapitre 51-40-30 « Nuts and alternatives »

Comme évoqué précédemment, divers standards issus de différents organismes ont été utilisés pour la définition des alternatives des écrous avec des codifications différentes. Les tables 2 et 3 du SRM, permettent de décrire de manière similaire les diverses façons de codifier des standards (pour rappel, un exemple de lecture de ces tables est disponible en [annexe 3](#)). Cependant, la transcription des informations issues des standards dans ces tables comporte des erreurs qui peuvent conduire à la détermination d'une codification erronée du P/N ALT.

Déterminer un écrou en alternative au P/N IPC de l'assemblage arrière pour le standard NTA11354 suivant le SRM revient à choisir un écrou de P/N NTA11354-5 car la protection est en argent (matériau en acier). Toujours suivant le SRM, ce P/N correspond également à la combinaison acier/cadmium. En réalité, d'après le standard NTA11354, un écrou de P/N NTA11354-5 est en acier avec une protection en cadmium et la combinaison acier/argent n'existe pas. La seule combinaison matériau/protection identique au P/N IPC (acier inoxydable/argent) a la codification NTA11354-5C.

On note aussi l'absence de description de la codification du P/N pour le standard NAS1291 en table 2 du SRM pouvant amener à choisir une mauvaise combinaison.

- AMM chapitre 20-21-12 « *Tightening torque of standard threaded fasteners* »: L'AMM chapitre 20 permet de définir les couples de serrage basique à appliquer (voir §1.6.3.2.4). Il ne permet pas de définir les P/N alternatifs mais il donne certaines informations comme le matériau et la protection des écrous.

Contrairement au SRM, les codes sont directement inclus dans le nom du standard. Toutes les combinaisons possibles pour chaque standard n'y sont pas détaillées. Ainsi pour le standard MS21043 et ceux possibles en alternatives suivant la table 1 du SRM 51-40-30 :

- MS21043 est défini comme étant en acier inoxydable avec une protection passivée ;
- NTA11354 est défini en acier avec une protection en cadmium ;
- NSA5050 est défini en acier avec une protection en cadmium ;
- NSA5050C est défini en acier inoxydable avec une protection en argent ;
- et NAS1291C est défini en acier avec une protection en cadmium.

Des erreurs de transcription sont donc aussi présentes dans ce document. Par exemple, la combinaison (acier inoxydable/passivée) n'existe pas pour le MS21043 et le code C pour le standard NAS1291C ne permet pas de définir le matériau/protection de manière unique. De même, un écrou de P/N NAS1291C5 sera en acier inoxydable avec protection argent alors qu'un écrou de P/N NAS1291C5M sera en acier inoxydable sans protection particulière.

1.6.3.2.4 Détermination du couple de serrage

Rappel : La JJC ne mentionnant pas de couples de serrage spécifiques à appliquer, ceux-ci sont donc des couples de serrage basiques (voir §1.6.3.2.1).

Le couple de serrage basique à appliquer (qui dépend des P/N de la vis et de l'écrou, et parfois de l'état de lubrification) peut être disponible à travers deux documents :

- Le SRM chapitre 51-25-02 intitulé « *Installation and fit conditions of bolts (torque), nuts and rivets* » ;
- L'AMM chapitre 20-21-12 intitulé « *Tightening torques of standard threaded fasteners* ».

À la date de l'incident, aucun des deux documents ne dispose d'une table de serrage ou d'information sur le couple correspondant à l'association des P/N vis / écrou mentionnés dans l'IPC (MS21043-6 / NTA11155-6H26 et MS21043-5 / NTA11159-5SU22). Il en est de même avec la plupart des P/N optionnels ou alternatifs. Au total, seules deux combinaisons de P/N vis / écrou disposent d'informations sur le couple de serrage basique à appliquer :

- NTA11354-6 / NTA11155-6H26 (95 – 360 in.lbs) ;
- NTA11354-5 / NTA11159-5SU22 : Cette combinaison dispose de deux plages de couples de serrage différents : 60-35⁽¹⁵⁾ in.lbs et 90-125 in.lbs en fonction du tableau choisi (voir détail en [annexe 5](#)).

Plusieurs autres incohérences ou erreurs ont été relevées dans ces deux documents au cours de l'enquête et lors de la recherche des couples de serrage pour les P/N IPC. Ces incohérences sont détaillées en [annexe 5](#).

⁽¹⁵⁾ La présence d'un deuxième nombre inférieur au premier nombre de l'intervalle est probablement liée à une erreur de typographie.

1.6.3.2.5 Pratique de remplacement des écrous autofreinés lors d'une opération de maintenance

Le constructeur mentionne la règle de réutilisation des écrous dans le SRM chapitre 512511-02-001-A01 – Installation of tension bolt with application of tightening torque et dans l'AMM chapitre 20-21-13. Seuls des examens visuels y sont demandés. Il n'y est pas demandé de vérifier que les écrous ont toujours leur capacité autofreinante avant remontage.

(4) **Reuse of Screws and Nuts**
It is prohibited to reuse aluminium alloy nuts.
For screws or nuts in other materials, fastener elements can be reused if authorisation is given from inspection in the following conditions:
The protection on the elements (or the surface condition if there is no protection) is not damaged (particularly the threads of the screw and nut on the nut bearing surfaces and the wrench engagement surfaces, the shank and recess of the screw).
The lubrication is restored as follows:
- **Initial lubrication:**
Restoring the lubrication.
- **The screw and nut have standard lubrication:**
Redo the standard lubrication of the screw or nut.
- **Only one of the 2 elements (screw or nut) has standard lubrication:**
Redo the standard lubrication of the element initially lubricated.
- **The initial installation was performed with a specific lubrication (e.g. anti-corrosion sealant or grease):**
Upon installation, apply the specific lubricant initially used.

Source : SRM ATR

Figure 10 : Critère de réutilisation des écrous

REJECTION CRITERIA

1. General

During maintenance operations, bolts and nuts evidencing the following damage shall be rejected :
- cracks, fractures, folds,
- protective finish deterioration and corrosion,
- distortion (stretching and brinelling),
- stripped threads,
- worn threads.

NOTE : Damage resulting from overtorquing and thread wear is readily detected by means of a thread form-gage.

Source : ATR

Figure 11 : Extrait de l'AMM chapitre 20-21-13

1.6.3.2.6 Synthèse sur la dépose/repose des trappes des trains principaux

Pour synthétiser le chapitre [1.6.3.2 Dépose/repose des trappes des trains principaux](#), l'analyse des documents de maintenance associés à la dépose/repose des trappes de trains principaux ainsi que des documents génériques du constructeur montre que :

- Le couple de serrage à appliquer sur les écrous des assemblages des attaches avant et arrière des trappes de trains principaux n'est pas spécifié dans la carte de travail associée. Ce couple de serrage « basique » doit donc être trouvé par le mécanicien au travers de la documentation générique du constructeur.
- Le couple de serrage basique de l'écrou de P/N IPC n'est pas disponible au travers de cette documentation générique.
- La documentation générique comporte des erreurs, imprécisions et incohérences, à la fois pour le choix des écrous en tant que P/N ALT et pour les couples de serrages associés. De plus, ces informations peuvent parfois être contradictoires entre les différents documents.
- Il n'y a pas de demande de vérification de la capacité autofreinante des écrous en cas de réutilisation ceux-ci.

1.6.4 Alerte CRUISE SPEED LOW

L'APM (Aircraft Performance Monitoring) est un système surveillant les performances de l'avion pendant le vol. Le système a été conçu et installé initialement pour détecter une traînée supplémentaire en conditions givrantes. De par son principe de conception, le système compare les écarts de vitesse et de traînée entre les valeurs théoriques dans les conditions de vol de l'avion et les valeurs instantanées, quelle qu'en soit la cause (givrage de la voilure, endommagement de la cellule, mouvements verticaux de l'atmosphère etc.).

Suivant l'écart entre les valeurs théoriques et les valeurs instantanées, le système peut émettre différents niveaux d'alertes dont le premier niveau (le plus bas) est « *CRUISE SPEED LOW* ».

Par conception, une alerte *CRUISE SPEED LOW* se déclenche lorsque l'avion est en phase de croisière⁽¹⁶⁾ (typiquement sous pilote automatique en mode maintien d'altitude), en conditions givrantes ou si celles-ci ont été détectées au moins une fois pendant le vol et que :

- La traînée calculée par l'avion est supérieure à celle attendue sur une moyenne glissante de 30 s ;
- La vitesse air de l'avion est inférieure à 10 kt par rapport à la vitesse air théorique dans les conditions du vol.

⁽¹⁶⁾ Avec une inhibition pendant les 120 premières secondes de cette phase pour permettre à l'avion d'atteindre sa vitesse de croisière.

Un voyant bleu s'allume dans le poste, sans annonce sonore. La procédure du FCOM associée à cette alerte et reprise dans le manuel d'exploitation d'HOP! demande la surveillance de la vitesse et des conditions givrantes pour anticiper une éventuelle dégradation des performances de l'avion.

1.7 Conditions météorologiques

Les données fournies par Météo-France indiquent pour l'heure et le lieu de l'incident :

- Une ligne isolée de cumulus et cumulus congestus entre Bellac et St Flour, dont le sommet ne dépasse pas le FL150, et les bases sont situées entre 3000 ft et 4000 ft QNH ;
- 7/8 du ciel recouvert par des alto cumulus au FL140 ;
- Un givrage modéré entre le FL50 et FL150 ;
- Des averses sous la ligne de cumulus et TCU ;
- Une turbulence faible localement modérée au voisinage des TCU ;
- Un vent au FL180 variable nord nord-est pour une quinzaine de nœuds ;
- Une température de -24 °C au FL180 ;
- Un QNH de 1011 hPa.

1.8 Aides à la navigation

Sans objet.

1.9 Télécommunications

Sans objet.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet.

1.11 Enregistreurs de bord

L'avion était équipé de deux enregistreurs de vol réglementaires. Les enregistreurs ont été lus dans les locaux du BEA le 28 mars 2018. Le vol de l'événement est enregistré dans les données de l'enregistreur de paramètres ainsi que sur les pistes audio de l'enregistreur phonique.

Les données de l'enregistreur de paramètres et les pistes audio de l'enregistreur phonique ont été synchronisées.

L'analyse des données de l'enregistreur de paramètres est fournie au §1.16.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

L'ensemble des éléments des assemblages vissés des attaches avant et arrière du côté gauche du F-GPYF ainsi que leur carénage ont été prélevés pour analyse au BEA. Ces analyses sont détaillées au §[1.16.3](#).

Les trappes de trains côté droit ont également été examinées visuellement sur place avec dépose/repose du carénage protégeant l'assemblage vissé. À l'exception de la présence d'un fil frein sur la vis de l'attache avant, rien de particulier n'a été noté.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Sans objet.

1.14 Incendie

Sans objet.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

Sans objet.

1.16 Essais et recherches

1.16.1 Étude des données de l'enregistreur de paramètres

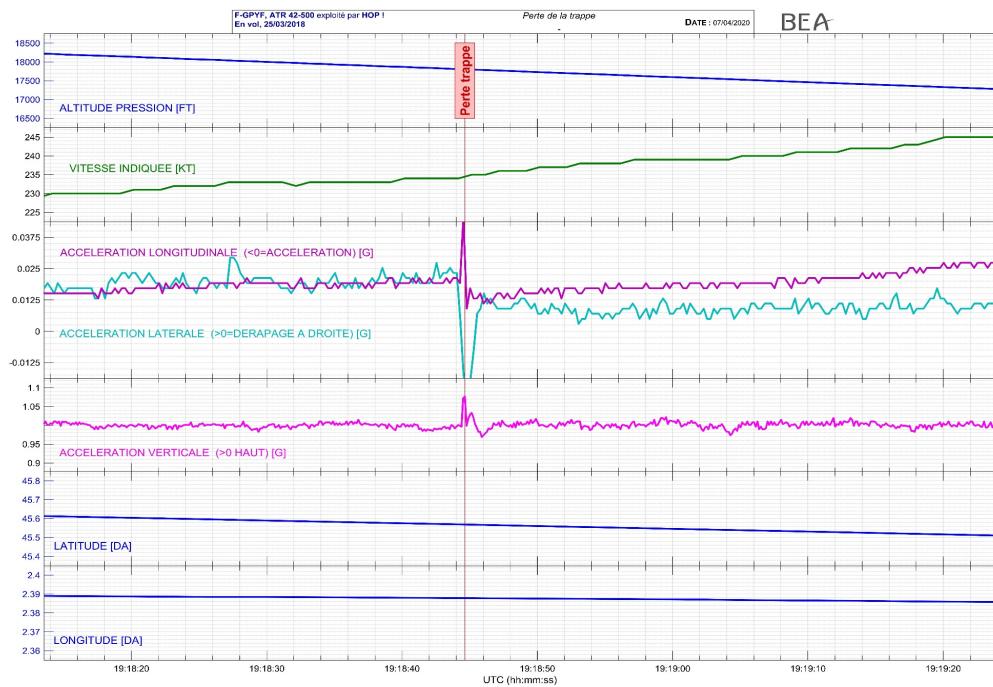
1.16.1.1 Datation et positionnement de l'événement

Lors de la mise en descente de l'avion, les valeurs enregistrées des trois accélérations (longitudinale, verticale et latérale) sont cohérentes. Peu après, à 19 h 18 min 44, ces trois valeurs d'accélération montrent un extremum (voir Figure 12).

Ces observations sont compatibles avec la perte de la trappe de train à 19 h 18 min 44 et des modifications aérodynamiques associées. La datation de cet événement par les données FDR est cohérente avec les sons identifiés au CVR.

L'avion était alors en descente, avec de la puissance. Les coordonnées de la position ainsi repérée sont les suivantes :

- 45.568371° N - 2.387853 E
- Altitude de 17 800 ft (5 425 m)



Source : BEA

Figure 12 : Localisation de la perte de trappe à l'aide des paramètres de vol

1.16.1.2 Alertes Cruise Speed Low

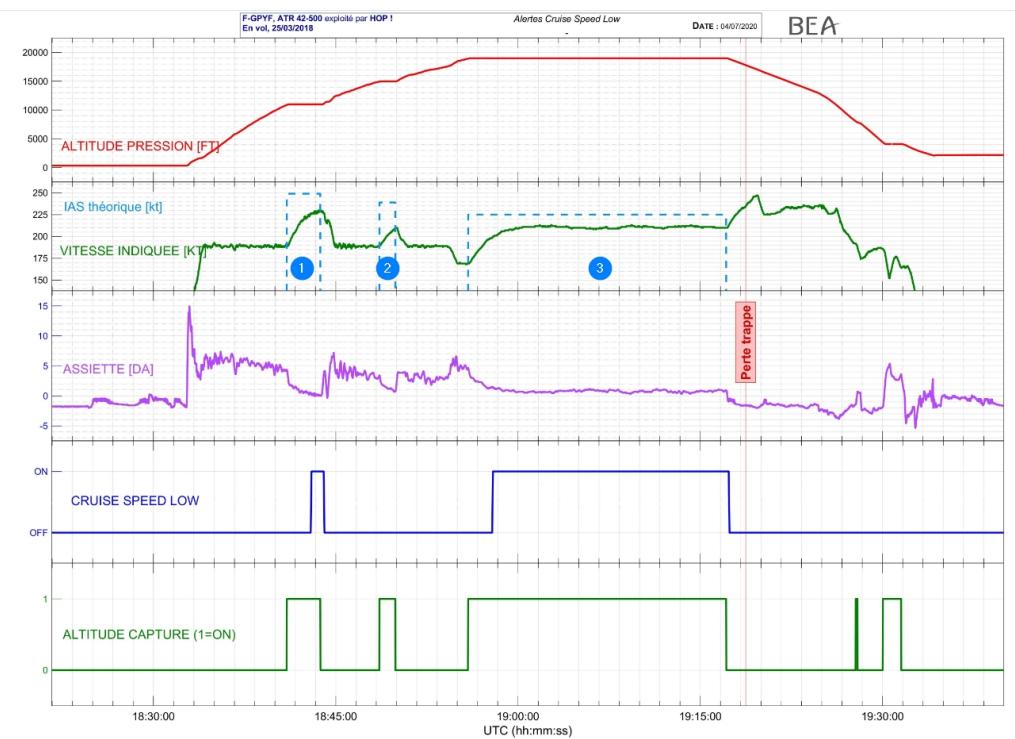
Lors du vol de l'événement, l'avion a fait deux paliers en montée avant la croisière.

Lors du premier palier (voir point ① [Figure 13](#)), l'alerte Cruise Speed Low s'est déclenchée deux minutes après la mise en palier. Par conception, cette alerte s'est arrêtée au moment où l'avion a repris sa montée.

Le second palier (voir point ② [Figure 13](#)) a duré uniquement 78 s, délai insuffisant pour que l'alerte se déclenche, même si les autres conditions étaient remplies.

L'alerte Cruise Speed Low s'est déclenchée une seconde fois, 122 s après l'arrivée à l'altitude de croisière et est restée active pendant toute la phase de croisière (voir point ③ [Figure 13](#)). Par conception, elle s'est arrêtée lorsque l'avion a commencé sa descente.

Le premier palier et la croisière (identifiés ① et ③ sur la [Figure 13](#)), montrent la même tendance : la vitesse indiquée augmente vers une limite qui se trouve inférieure à la vitesse théorique.

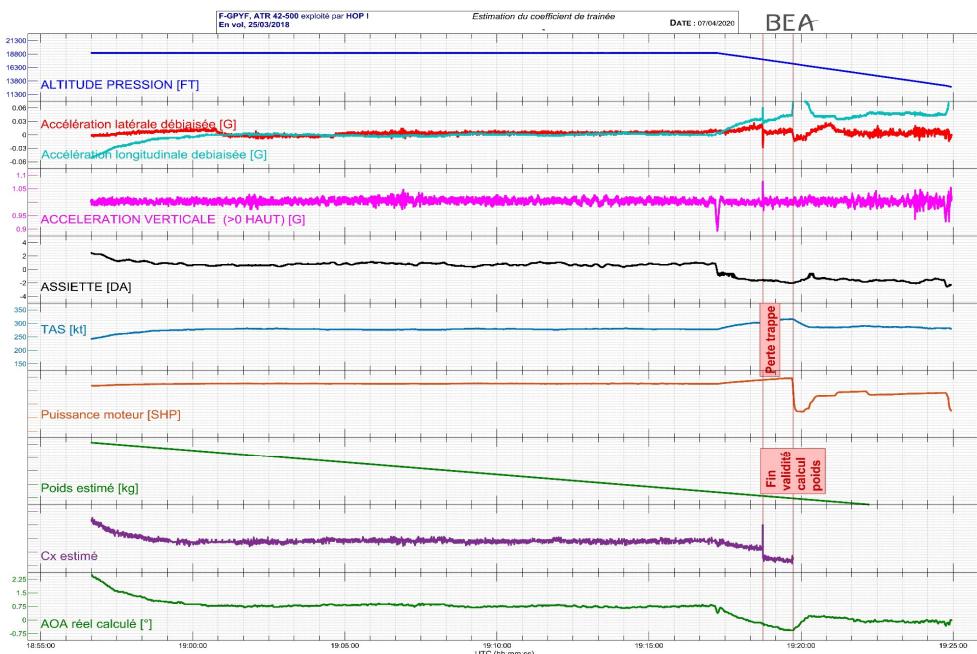


Source : BEA

Figure 13 : Alertes Cruise Speed Low

1.16.1.3 Étude de la traînée

Le coefficient de traînée (C_x) de l'avion⁽¹⁷⁾ est fonction de l'incidence (Angle Of Attack - AOA). Durant la croisière (voir Figure 14), l'incidence se stabilise à une valeur moyenne de $0,8^\circ$. Pendant les quinze minutes de la croisière, l'alarme CRUISE SPEED LOW est active et le coefficient de traînée de l'avion ne varie pas significativement (valeurs proches de la moyenne à $\pm 5\%$, avec un écart type limité à 1 %).



Source : BEA

Figure 14 : Étude de la traînée

⁽¹⁷⁾ Les calculs du C_x effectués par le BEA utilisent des valeurs approchées, avec des incertitudes qui ne peuvent pas être estimées et comparées entre deux vols ou entre des phases de vol disjointes. Cependant, ces imprécisions correspondent à des décalages fixes de valeurs. Elles n'impactent pas les tendances et les évolutions des paramètres. L'analyse se basera sur ces évolutions et non sur les valeurs calculées. Lors de la réduction rapide de la puissance des moteurs par l'équipage pour la mise en descente, les calculs ne sont plus réalisables : la réduction de puissance implique un changement de consommation de carburant, qui n'est pas connu précisément (absence d'enregistrement du débit carburant).

Au moment de la séparation de la trappe, les valeurs du Cx de l'avion subissent un décalage identifiable.

Après la séparation de la trappe, le Cx montre une évolution cohérente avec l'évolution de l'AOA, avec une traînée moins importante en proportion que lors de la croisière.

Durant toute la croisière, la trappe de train était dans une position (ou avait une liberté de mouvement) qui générait une traînée additionnelle, sans variation notable au cours de cette phase de vol. Cette traînée additionnelle a disparu avec la perte de la trappe.

L'étude des 19 vols précédents n'a pas révélé de déclenchement de l'alerte CRUISE SPEED LOW.

1.16.1.4 Conclusion

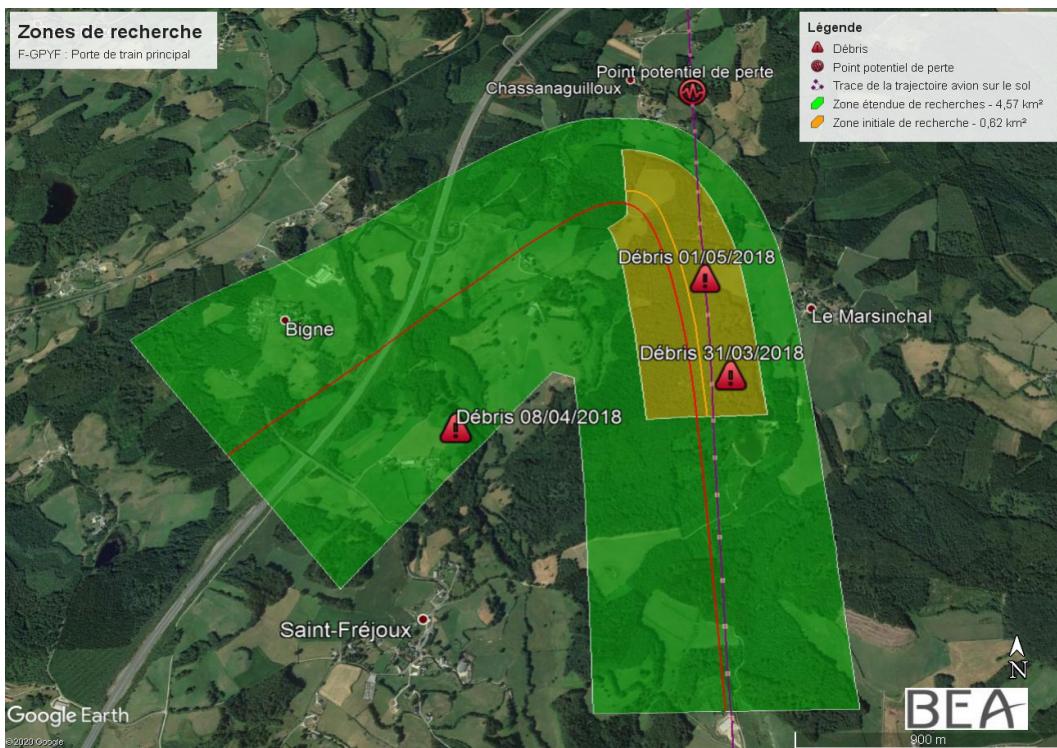
Les données FDR montrent un comportement aérodynamique de l'avion cohérent à partir du premier palier au FL110 jusqu'à la séparation de la porte de trappe de train de l'avion, avec une traînée additionnelle. Il est très probable que cette traînée additionnelle soit générée par la porte de train dans une position non fermée ou par un degré de liberté de mouvement de cette porte.

Il n'est cependant pas possible, avec les seules données FDR, de préciser si la porte de train s'est mal fermée lors de la rentrée du train ou si elle s'est ouverte progressivement lors de la montée initiale vers le FL110.

1.16.2 Recherche et récupération des éléments de la trappe

En utilisant la datation et le positionnement de l'événement, une zone de recherche par calcul balistique prenant en compte la colonne de vent et des hypothèses sur les caractéristiques aérodynamiques de la pièce, a été établie afin d'essayer de retrouver les éléments manquants de la trappe de train.

Trois éléments de la trappe du TPG ont été retrouvés respectivement les 31 mars 2018, 8 avril 2018 et 1^{er} mai 2018 dans un rayon d'environ 2 km autour du point estimé de la perte de la trappe (voir [Figure 15](#)).



Source : BEA et fond de carte Google Earth

Figure 15 : Localisation des débris retrouvés et zone de recherche

Les éléments de la trappe ont été transportés au BEA pour faire l'objet d'examens en laboratoire.

La trappe est ainsi quasi reconstituée dans son ensemble (voir Figure 16) et contient les deux attaches mâles avant et arrière.



Source : BEA

Figure 16 : Éléments de trappe retrouvés

1.16.3 Examen technique des pièces d'attaches des trappes du train principal gauche

Des examens ont été réalisés sur les éléments de trappes retrouvés ainsi que sur les éléments prélevés sur l'avion juste après l'incident. Pour rappel, la description de la trappe est disponible au §[1.6.2](#).

1.16.3.1 Examen visuel des éléments de trappes retrouvés

Un examen visuel des éléments de la trappe de train a été effectué. En complément de la rupture en plusieurs morceaux de la trappe de train, il a notamment été observé :

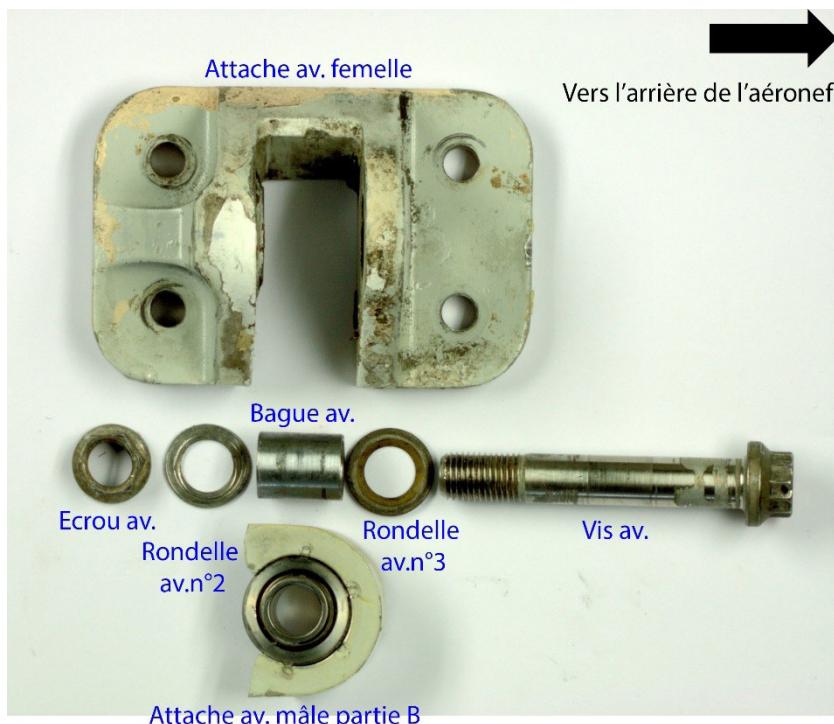
- La rupture de la charnière n°1 (liaison avec le fuselage) ;
- La rupture de la biellette qui fait la jonction entre la trappe de train et la jambe de train au niveau de son raccord à la trappe de train ;
- La rupture de l'attache avant mâle.

Les attaches mâles avant et arrière ainsi que le raccord (et son morceau de biellette) ont été démontés pour des examens approfondis.

1.16.3.2 Attaches côté gauche

1.16.3.2.1 Assemblage attache avant

Les éléments de l'attache avant sont présentés en Figure 17. La partie mâle de l'attache est rompue. L'examen fractographique a montré les caractéristiques d'une rupture brutale de l'avant vers l'arrière de l'aéronef. La vis présente un marquage cohérent avec le P/N IPC.



Source : BEA

Figure 17 : Éléments de l'attache avant

Une analyse par EDS a montré que le matériau et la protection de l'écrou ne correspondent pas à l'écrou spécifié par l'IPC (voir §1.6.2.2). La protection de l'écrou analysé est en effet composée majoritairement de cadmium et les teneurs mesurées en chrome et le matériau de l'écrou n'ont pas les caractéristiques d'un écrou inoxydable.

Enfin, l'écrou est magnétique alors que l'acier inoxydable qui compose un écrou de P/N « MS21043-6 » est amagnétique. Un marquage R a été observé sur les deux surfaces d'entraînement de l'écrou. Ce R peut correspondre au marquage du fabricant de l'écrou.

Lors du démontage de l'écrou, le couple de serrage a été mesuré par la méthode du couple au repère⁽¹⁸⁾. Le couple ainsi obtenu⁽¹⁹⁾ est de 14 N.m (124 in.lbs).

1.16.3.2.2 Assemblage attache arrière

Comme indiqué au §1.3 (voir Figure 3) une rondelle et un écrou de l'assemblage arrière sont manquants. Les éléments démontés de l'attache arrière femelle sont présentés en Figure 18.

Les parties femelle et mâle de l'attache arrière ainsi que la vis ne présentent pas d'endommagement significatif. La vis présente un marquage cohérent avec le P/N IPC.

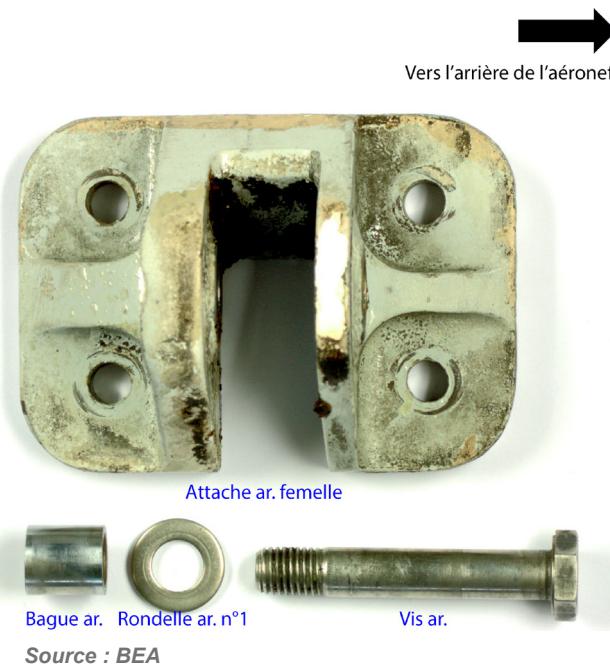


Figure 18 : Éléments de l'attache arrière

Le carénage arrière présente des traces intérieures correspondant à des marquages laissés par la tête de vis (voir Figure 19). Elles témoignent du décalage important de la vis observé sur l'avion après l'incident (voir Figure 3) par rapport à sa position normale.

⁽¹⁸⁾ Un repère a été tracé sur la vis et sur l'écrou puis l'écrou a été dévissé. Enfin, il a été revisé à l'aide d'une clé dynamométrique jusqu'au réalignement des deux parties du repère.

⁽¹⁹⁾ Ce couple est donné uniquement à titre informatif. Généralement, le couple de contrôle « au repère » est inférieur au couple de serrage.

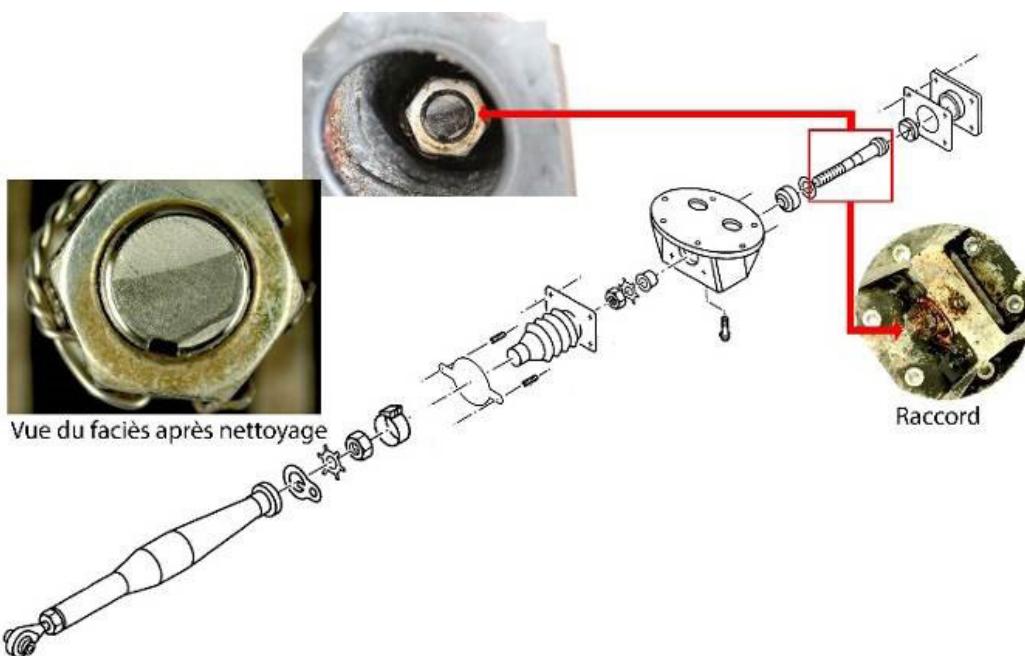


Source : BEA

Figure 19 : Carénage arrière - face intérieure

1.16.3.2.3 Biellette

La biellette a été retrouvée désolidarisée de sa liaison avec la trappe de train au niveau d'une vis se fixant au raccord de la trappe (voir Figure 20).



Source : ATR et BEA

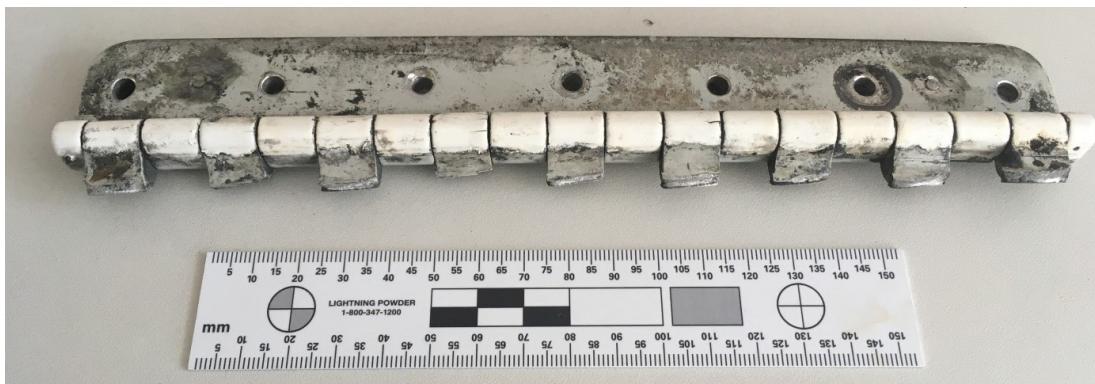
Figure 20 : Examen de la biellette

Un examen fractographique de la rupture de la vis au MEB a permis de mettre en évidence une zone de fissuration en fatigue par la présence de stries de fatigue avec amorcages multiples en surface, et une zone présentant des cupules, caractéristiques d'une rupture brutale ductile.

Les examens complémentaires réalisés (dureté, métallographie) montrent que les caractéristiques métallurgiques du matériau de la vis sont cohérentes avec les spécifications du constructeur.

1.16.3.2.4 Charnière n°1

Toutes les parties mobiles des charnières sont rompues. L'examen fractographique indique les caractéristiques d'une rupture brutale par surcharge. Une observation au microscope de la peinture au droit des faciès de rupture de la charnière permet de définir le sens de propagation des ruptures par la visualisation de petites fissures. Ainsi, il a pu être déterminé que les parties mobiles des charnières se sont rompues par surcharge de l'avant vers l'arrière de l'aéronef.



Source : BEA

Figure 21 : Examen de la charnière n°1

1.16.4 Test sur avion

Un test a été réalisé par le constructeur sur l'ATR 42 MSN002, aujourd'hui utilisé comme avion école au lycée Saint-Exupéry de Blagnac. Sur cet avion, les attaches avant et arrière ainsi que la biellette sont différentes de celles du F-GPYF MSN495, cependant la géométrie de la porte est similaire.

La porte a été libérée de ses attaches et de sa biellette. Elle a été déployée contre le fuselage de l'aéronef. La porte n'est alors retenue que par sa charnière n°1.

Les endommagements constatés de l'aéronef F-GPYF après l'incident, en particulier au niveau du hublot et sous l'emplanture de l'aile sont cohérents avec une position de la trappe de train telle que visible sur la [Figure 22](#) suivi d'une translation vers l'arrière légèrement dirigée vers le haut.



Source : ATR

Figure 22 : Test ATR sur MSN002

1.16.5 Contrôles et vérifications sur la flotte ATR 42-500 de l'exploitant HOP!

Dans le cadre de l'enquête de sécurité interne ouverte par HOP! à la suite de l'incident, ce dernier a réalisé une campagne d'inspection des attaches des trappes de trains principaux de la flotte ATR 42-500 afin de détecter d'éventuels écarts. HOP! a également demandé de procéder au remplacement des vis et des écrous des attaches avant et arrière lors des prochaines checks A sur chaque aéronef. Une partie de ces vis et écrous déposés lors des checks A a été transmise au laboratoire du BEA.

1.16.5.1 Inspection initiale par HOP!

L'inspection initiale demandée par HOP! consistait en la vérification des points suivants :

- Enlever les carénages ;
- Prendre en photo les assemblages ;
- Vérifier que la vis est installée dans la bonne direction ;
- Vérifier que le P/N de la vis est correct ;
- Vérifier l'absence de fil frein⁽²⁰⁾ ;
- Vérifier que l'écrou est serré dans les plages de couple suivantes (informations fournies par ATR à HOP! le 27/03/2018) :
 - Avant : 150 - 250 in.lbf
 - Arrière : 90 - 125 in.lbf

(20) L'installation d'un fil frein n'est en effet pas demandée par l'IPC et la JIC.

Sur les 38 assemblages inspectés correspondant à 19 trappes de trains principaux de 10 avions, les principaux points remontés ont été les suivants :

- 1 écrou arrière dévissé (en dehors de sa position nominale), 2 couples de serrage trop élevés (ceux du côté droit du F-GPYF)⁽²¹⁾, les 35 autres valeurs de couples de serrage mesurées étant dans les plages de valeurs indiquées par ATR ;
- Des fils freins installés sur 3 vis avant ;
- 6 vis installées dans le sens contraire à celui indiqué dans la JIC (avec la tête de vis dirigée vers l'avant de l'aéronef) ;
- 1 écrou détecté non conforme à l'IPC (pour rappel, la vérification du P/N de l'écrou n'était pas demandé lors cette inspection immédiate, lancée au lendemain de l'événement)⁽²²⁾.

1.16.5.2 Examen par le BEA sur les pièces récupérées après les check A

Un écrou neuf de P/N « MS21043-6 » a été transmis au BEA par ATR pour déterminer par comparaison le revêtement et le matériau des écrous. L'écrou avant du TPG est très similaire en forme et taille avec celui fourni par ATR. Des examens autres que visuels ont donc été nécessaires pour déterminer avec certitude le revêtement et le matériau des écrous.

Un écrou de P/N IPC « MS21043-5 » ou de P/N « MS21043-6 » en acier inoxydable a la particularité d'être amagnétique. Sur les 18 écrous fournis par HOP! au BEA, 9 écrous étaient magnétiques. Une analyse EDS a été effectuée sur ces 9 écrous, révélant une protection en cadmium qui ne correspond pas à la protection des P/N IPC (argent)⁽²³⁾. Parmi ces 9 écrous, deux sont issus des assemblages avant et arrière de la trappe du TPD du F-GPYF.

Les 9 écrous ainsi considérés ont un matériau (acier) et une protection (cadmium) différents du P/N IPC (acier inoxydable et protection argent).

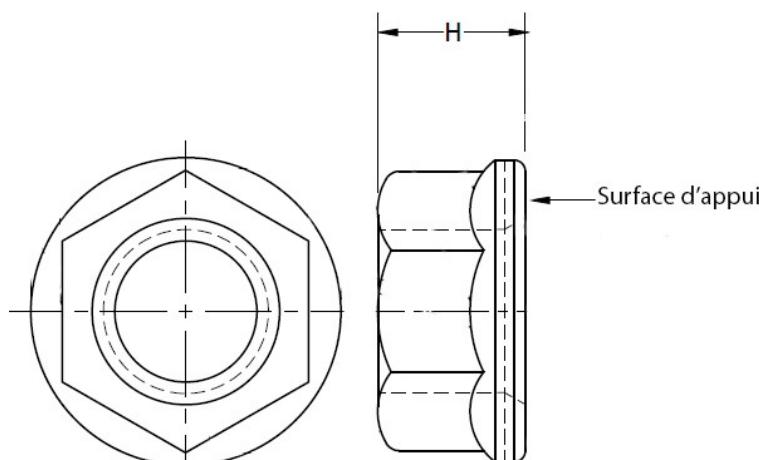
Afin d'essayer de déterminer le P/N des écrous magnétiques récupérés, la surface d'appui a été observée et la hauteur H mesurée (voir Figure 23). Les 9 écrous ont une surface d'appui circulaire et une hauteur réduite⁽²⁴⁾ (comme le P/N IPC).

⁽²¹⁾ Les valeurs de couple n'ont pas été mesurées et enregistrées, l'inspection initiale a uniquement permis de vérifier si le couple minimal était atteint et/ou si le couple maximal était dépassé.

⁽²²⁾ Il est à noter que le P/N n'est pas marqué directement sur les écrous : seul un marquage C accompagné du logo du constructeur de l'écrou est éventuellement indiqué sur l'écrou.

⁽²³⁾ Pour rappel (voir §1.6.3.2.3.1), les P/N ALT ou P/N OPT doivent avoir une protection identique au P/N IPC, à savoir en argent.

⁽²⁴⁾ On parle de « hauteur réduite » par comparaison à des écrous à hauteur standard. Dans cette configuration, il s'agit d'une hauteur réduite quand $H < 6.76$ mm pour les écrous arrière et $H < 7.16$ mm pour les écrous avant.



Source : BEA

Figure 23 : Définition de la surface d'appui et de la hauteur H d'un écrou

Parmi les standards en alternatives possibles au P/N IPC, les écrous magnétiques (matériau en acier) revêtus de cadmium avec une hauteur réduite et une surface d'appui circulaire récupérés lors des checks A peuvent correspondre à un écrou de P/N NAS1291-5 pour les écrous arrière (resp. P/N NAS1291-6 pour les écrous avant). Il est à noter que selon le standard NAS1291, le P/N est inactif et que pour des nouveaux designs, il faut se reporter au standard MS21042. Ainsi, les écrous arrière (resp. avant) peuvent également correspondre aux P/N suivants : MS21042L5 ou MS21042-5 (resp. MS21042L6 ou MS21042-6).

Les trois écrous restants du F-GPYF ne sont donc pas en acier inoxydable avec protection argent (comme pour le P/N IPC) et présentent les caractéristiques suivantes : magnétiques, protection en cadmium, hauteur réduite et surface d'appui circulaire.

1.16.5.3 Lieux des dernières opérations de maintenance

La liste des dernières opérations de maintenance nécessitant la dépose des trappes de train sur les six avions (dont le F-GPYF) présentant des non-conformités par rapport à l'inspection initiale a été fourni par HOP!. Il apparaît que les opérations ont eu lieu dans différents ateliers de maintenance : HOP! à Morlaix, HOP! à Clermont-Ferrand, Rheinland Air Service à Mönchengladbach, Latécoère Aeroservices à Montpellier.

Ainsi, les divers écarts constatés sur les assemblages vissés ne sont pas en relation avec les interventions faites par un atelier en particulier.

1.16.6 Présence des écrous sur l'ATR 42-500

Les écrous de P/N IPC MS21043 se trouvent à plusieurs endroits dans l'ATR 42-500 et notamment dans les ATA suivants :

- 21 AIR CONDITIONING
- 24 ELECTRICAL POWER
- 27 FLIGHT CONTROLS
- 29 HYDRAULIC POWER
- 30 ICE & RAIN PROTECTION
- 31 INDICATING/RECORDING SYSTEMS
- 32 LANDING GEAR
- 33 LIGHTS
- 34 NAVIGATION
- 36 PNEUMATIC
- 52 DOORS
- 53 FUSELAGE
- 54 NACELLES/PYLONS
- 55 STABILIZERS
- 56 WINDOWS
- 61 PROPELLERS
- 76 ENGINE CONTROLS

Les écrous de P/N ALT NAS1291, NTA11354, NSA5050 se retrouvent également à de nombreux autres endroits de l'avion.

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 HOP!

La société HOP! est issue de la fusion en 2016 des trois sociétés HOP! Brit Air, HOP! Régional et HOP! Airlinair. Les ATR exploités par HOP! proviennent d'HOP! Airlinair.

HOP! détient à la date de l'événement les certifications et agréments suivants :

- Le Certificat de Transporteur Aérien ;
- Les Agréments Part-M et Part-145 ;
- Agrément Part-21.

Pour l'entretien de sa flotte composée d'ATR, de Bombardier et d'Embraer, HOP! utilise les centres de maintenance de son agrément Part-145 de Clermont-Ferrand, Morlaix, Lyon et Lille. Certaines tâches d'entretien sont sous-traitées à d'autres Part-145 comme Rheinland Air Service en Allemagne.

La documentation de maintenance utilisée par HOP! et transmise à ses sous-traitants est basée sur la documentation du constructeur.

1.17.1.1 Détermination et application du couple de serrage au sein de l'organisme

Des entretiens ont été effectués avec plusieurs mécaniciens HOP!. Au cours de ces entretiens, il est apparu qu'en l'absence d'information sur le couple de serrage des écrous dans la carte de travail, plusieurs méthodes sont utilisées par les mécaniciens pour déterminer le couple de serrage à appliquer :

- Pour certains d'entre eux cela signifie que celui-ci n'est pas essentiel, ils appliquent alors un couple de serrage dit « standard » en faisant rentrer en contact l'écrou et son vis-à-vis puis en serrant à 45° en vérifiant que des filets de la vis dépassent ;
- Pour d'autres, ils tentent d'obtenir l'information dans la documentation disponible (AMM chapitre 20 ou SRM).

Note : la seule procédure de maintenance standard pour appliquer un couple de serrage en adéquation avec la Part 145 est de suivre les instructions de maintenance du constructeur.

L'opération de serrage au couple des écrous des assemblages des attaches des trappes des trains principaux est considérée comme non critique par les mécaniciens interviewés.

Lorsqu'il leur a été demandé de faire l'exercice de déterminer le couple de serrage sur la base de la documentation en vigueur à la date de l'événement, aucun n'a trouvé le couple de serrage approprié ou n'a relevé que celui-ci était indisponible.

1.17.1.2 Alternatives possibles à l'écrou de P/N IPC MS21043

D'après les entretiens effectués avec les mécaniciens HOP!, le processus de sélection des écrous est le suivant :

- S'il n'y a pas de demande par la JIC de changement d'écrou lors de la dépose/repose de la pièce, alors les mécaniciens le réutilisent sauf si un endommagement est détecté ;
- Si un besoin de changement d'écrou est identifié, alors une pièce de P/N IPC est demandée au magasin et utilisée si disponible. Dans le cas contraire, le magasinier recherche dans le logiciel de gestion des stocks les alternatives possibles, puis sélectionne la pièce désirée au sein du magasin où celles-ci sont rangées par P/N et par lot.

Chez Airlinair, c'était le logiciel AMASIS (Aircraft Maintenance And Spares Information System) qui était utilisé entre autres pour gérer le programme d'entretien, la gestion des stocks et des équipements à durée de vie limitées.

Depuis la fusion des trois exploitants aériens, c'est le logiciel AMOS (Airline Maintenance & Operational Systems) qui est utilisé par l'exploitant (en commun pour le Part-M et le Part-145) à ces mêmes desseins.

Ces logiciels permettent de référencer des alternatives au P/N IPC en cas de besoin après validation interne.

Les deux logiciels ont été testés par le BEA :

- Dans le logiciel AMASIS, aucune alternative aux écrous de P/N IPC MS21043-5 et MS21043-6 n'était référencée.
- Dans le logiciel AMOS, aucune alternative à l'écrou de P/N IPC MS21043-5 n'était référencée. Une alternative était référencée au P/N IPC MS21043-6. Cette alternative provient de la documentation Embraer et n'a jamais été appelée par le système depuis son introduction en 2006.

Ainsi et d'après les données des logiciels, il n'y a pas eu besoin d'alternative au P/N IPC MS21043 chez HOP! Part-145 ou ses prédecesseurs depuis 2006.

1.17.1.3 Réutilisation des écrous autofreinés

Certains mécaniciens HOP! ont été questionnés sur la réutilisation des écrous autofreinés. Plusieurs méthodes ont été évoquées :

- Utilisation unique d'un écrou autofreiné et remplacement par un nouveau ;
- Vérification qu'il n'y a pas de point dur lors du resserrage de l'écrou utilisé ;
- Inspection visuelle de l'écrou ;
- Pas de vérification particulière.

1.17.2 Rheinland Air Service

RAS est une entreprise basée en Allemagne, spécialisée dans la maintenance des aéronefs depuis plus de 40 ans. Le site internet de la société indique : « Pour les compagnies aériennes commerciales, RAS propose une gamme complète de services de maintenance certifiés AESA et FAA. RAS a été le premier partenaire du réseau de maintenance ATR en Europe et propose également des services de sous-traitance ATR »⁽²⁵⁾. RAS était un des principaux sous-traitants d'HOP! pour la maintenance de ses ATR.

⁽²⁵⁾ <https://www.ras.de/ras-e-ras-main.html>

En juin 2015 l'échange standard des trains principaux du F-GPYF a eu lieu dans les locaux de la société à Mönchengladbach. C'est lors de cette opération qu'a été réalisée la dernière dépose/repose des trappes des trains principaux. Le dossier de travail a été transmis au BEA.

Le BEA n'a pas identifié de particularité dans le dossier de travail lié à cette opération. En particulier, il n'y a pas eu de changement d'écrou des attaches des trappes de train lors de cette opération.

Le logiciel de gestion des pièces de RAS a également été testé, aucune alternative aux écrous de P/N IPC MS21043-5 et MS21043-6 n'est référencée dans le système. De plus, le logiciel n'a recensé aucune sortie du magasin d'un nouvel écrou de P/N IPC MS21043-5 et MS21043-6 depuis début 2015.

Des entretiens avec des mécaniciens de la société ont également été effectués avec des résultats similaires à ceux évoqués au §1.17.1.

Certains mécaniciens ont identifié, sur la base du SRM, plusieurs couples de serrage à appliquer pour le binôme P/N IPC vis/écrou.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Bonnes pratiques sur le dimensionnement des assemblages vissés

La tenue d'un assemblage vissé dépend de multiples paramètres définis lors du dimensionnement initial (coefficients de frottement des diverses pièces, épaisseur des pièces serrées, couple de serrage appliqué, nature des matériaux et des protections, nature du moyen de serrage, etc.). La modification d'un de ces paramètres peut éventuellement remettre en cause le dimensionnement et rendre par exemple inefficace le couple de serrage défini initialement.

Il est à noter que les phénomènes mécaniques précis intervenant au sein des assemblages vissés utilisés en dehors des bonnes pratiques ne sont pas entièrement connus et que la compréhension du comportement de l'assemblage nécessite en général la réalisation d'essais.

1.18.1.1 Choix des matériaux : combinaison vis-écrou

La norme française NF E 25-030-A⁽²⁶⁾ définit des règles de dimensionnement et de serrage d'un assemblage vissé mécanique précontraint⁽²⁷⁾ et indique un certain nombre de préconisations. En particulier dans le chapitre association vis-écrou, il est indiqué que : « *pour un écrou auto-freiné tout métal, la classe de qualité de l'écrou doit être égale à celle de la vis (et non supérieure), afin d'éviter tout risque de déformation du filetage de la vis* ».

L'échelle de classification⁽²⁸⁾ des fixations est différente entre les écrous en aciers et ceux en aciers inoxydables. Ainsi pour les assemblages vissés, il n'est pas prévu de mixer les matériaux (exemple vis en acier inoxydable avec écrou en acier).

⁽²⁶⁾ En date du 23 août 2014.

⁽²⁷⁾ La précontrainte correspond à la contrainte introduite par le serrage initial de l'assemblage.

⁽²⁸⁾ La classe de qualité pour les aciers au carbone ou aciers alliés est définie (NF EN ISO 898-1) par un nombre décimal (ex : 10.9) alors que pour les aciers inoxydables elle est définie (NF EN ISO 3506-1) par les lettres et des chiffres (ex : A2-70).

1.18.1.2 Définition d'un couple de serrage

Le serrage est un élément important de la tenue d'un assemblage vissé. Celui-ci doit en effet être suffisant pour garantir le bon maintien de la liaison vissée au regard des sollicitations appliquées au système (i.e. non-décollement et non-glissement des pièces assemblées en service) sans toutefois dépasser les caractéristiques mécaniques d'un des éléments de l'assemblage (plastification, arrachement des filetages de la vis ou du filetage de l'écrou, etc.).

1.18.1.3 Utilisation des écrous autofreinés tout métal

Autofreinage

La norme d'approvisionnement NASM25027 référencée dans le standard MS21043 des écrous de P/N IPC introduit les notions de couple maximal d'autofreinage exercé par l'écrou⁽²⁹⁾ et le couple minimum d'autofreinage au dévissage⁽³⁰⁾ qui sont respectivement de 90 in.lbf et de 9.5 in.lbf pour l'écrou avant et de 60 in.lbf et de 6.5 in.lbf pour l'écrou arrière.

Réutilisation des écrous

Selon la norme NF EN ISO 2320⁽³¹⁾, un écrou autofreiné tout métal est un écrou comportant une ou plusieurs parties métalliques, et dont les caractéristiques d'autofreinage résultent d'une déformation du taraudage de l'écrou et/ou de l'écrou lui-même, et/ou d'insert(s) métallique(s). Cette norme indique par ailleurs que : « *les performances relatives au couple d'autofreinage diminuent en fonction du nombre de réutilisations, le client doit prendre en considération les conséquences de la diminution des performances avant toute réutilisation de l'écrou* ».

Les écrous MS21043 sont des écrous dont la caractéristique d'autofreinage dépend de la déformation du taraudage de l'écrou. Selon la spécification technique d'approvisionnement⁽³²⁾ référencée dans le standard MS21043, les écrous sont testés pour 15 cycles de vissage/dévissage afin de garantir une valeur minimale donnée de couple d'autofreinage.

De plus, il a été constaté dans le cadre de l'enquête que d'autres constructeurs aéronautiques demandent :

- Soit de ne pas réutiliser les écrous autofreinés ;
- Soit, en cas de réutilisation, d'effectuer une mesure du couple d'autofreinage avant le montage définitif, afin de vérifier le bon état de cette fonction. Cette pratique est applicable quelle que soit la criticité de l'assemblage.

⁽²⁹⁾ Le couple nécessaire pour faire tourner l'écrou sur l'élément fileté extérieur associé sans charge axiale au montage ou au démontage.

⁽³⁰⁾ Le couple nécessaire pour faire tourner l'écrou pendant la rotation de 360° intervenant immédiatement après l'annulation de la tension dans l'élément fileté extérieur, au démontage.

⁽³¹⁾ En date du 10 mars 2016. Norme référencée uniquement à titre informatif. Cette norme n'est pas appelée dans la documentation ATR.

⁽³²⁾ NASM25027 révision 1 en date du 21 décembre 2012.

1.18.2 Règles de certification concernant les assemblages vissés

Lors de la demande de certification de l'ATR 42-500 en 1993, la base de certification était la JAR 25 change 13.

Plusieurs règles générales de certification initiales sont applicables aux assemblages vissés. Les deux principales exigences sur le dimensionnement des assemblages peuvent être résumées ainsi :

- Les pièces doivent être testées et réputées fiables en adéquation avec leur fonction (JAR 25.601) ;
- Les pièces doivent être capables de supporter des charges limites et ultimes (JAR 25.305).

Des règles de certification spécifiques aux assemblages vissés sont incluses dans le point JAR 25.607 'Fasteners' :

(a) *Each removable bolt, screw, nut, pin or other removable fastener (see ACJ 25.607 (a)) must incorporate two separate locking devices if*

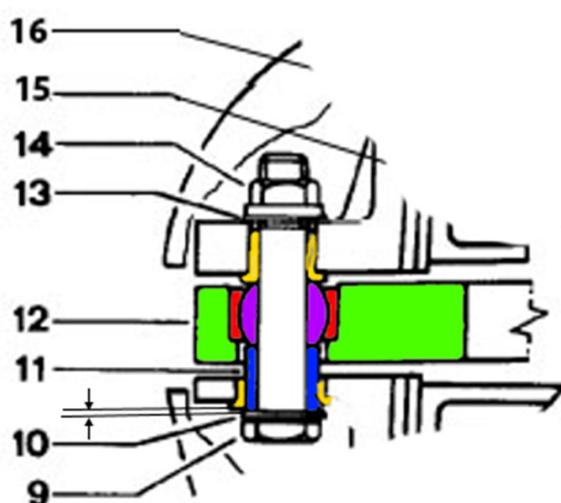
(1) Its loss could preclude continued flight and landing within the design limitations of the aeroplane using normal pilot skill and strength; or

(2) Its loss could result in reduction in pitch, roll or yaw control capability or response below that required by Subpart B of this JAR-25.

(b) *The fasteners specified in sub-paragraph (a) of this paragraph and their locking devices may not be adversely affected by the environmental conditions associated with the particular installation.*

(c) *No self-locking nut may be used on any bolt subject to rotation in operation unless a non-friction locking device is used in addition to the self-locking device.*

Lors de la certification initiale de l'ATR 42, il a été considéré que l'assemblage vissé n'était pas sujet à une rotation car c'est la rotule (en rouge sur la Figure 24) montée dans l'alésage de l'attache mâle, qui est en rotation autour de la pièce en violet sur la Figure 24 qui encercle la vis. Ainsi, en présence d'un bon graissage, il n'y a pas d'effort de couple transmis à la vis lors de l'ouverture et la fermeture de la trappe de train d'atterrissement.



Source : ATR et BEA

Figure 24 : Rotation du montage

L'annexe H au JAR 25 'Instructions for Continued Airworthiness' requiert également des instructions de maintenance, notamment pour préciser le couple de serrage à appliquer : soit en étant fourni par des tables générales (via des standards de l'industrie par exemple) ; soit en étant explicitement indiqué dans la documentation.

1.18.3 Continuing Airworthiness Review Item (CARI) 20-01 du 30/08/2018

Dans le cadre du maintien de la navigabilité, l'AESA a édité le 30/08/2018 un CARI (voir [annexe 6](#)) ayant pour sujet « *Continued airworthiness of MS21042, NASM21042 and NAS1291 standard fasteners (nuts) used in critical installations* ». Ce CARI (postérieur à l'événement et non relié à celui-ci) a été émis par l'AESA à la suite de plusieurs ruptures d'écrous approvisionnés suivant les standards NASM21042, MS21042 et NAS1291.

L'AESA a jugé que ces standards peuvent montrer un taux de défaillance inacceptable (perte complète de la fonction de rétention de l'assemblage, perte de la capacité à être autofreinant). Elle demande ainsi aux détenteurs de certificat de type de lui faire remonter toutes ruptures de ces pièces et d'expliquer en quoi ils maîtrisent le risque associé à ces standards potentiellement défaillants utilisés sur des installations critiques. Il est mentionné en particulier le risque d'une rupture associée à des erreurs de maintenance telles qu'une installation incorrecte, une application d'un mauvais couple de serrage ou une mauvaise réutilisation de l'écrou.

ATR a répondu à ce CARI (voir [annexe 7](#)) en disant qu'il n'avait pas eu de remontée de défaillance en lien avec les standards listés et que ses procédures de maintenance génériques (AMM et SRM) permettaient d'assurer que les écrous sont correctement installés avec le bon couple de serrage.

1.18.4 Témoignages des PNT

Le pilote qui a fait l'inspection extérieure de l'avion au départ de Paris-Orly indique qu'il n'a rien détecté de particulier ni sur l'avion ni sur le Technical Log Book (TLB).

Les PNT indiquent être entrés en conditions de givrage léger lors de la montée vers le FL100 puis être sortis de la couche afin de monter au FL190 de croisière où l'atmosphère était calme avec un ciel clair. Ils ont gardé l'anti-icing AOA actif pendant tout le vol. Peu de temps après s'être stabilisé en croisière, les deux pilotes ont aperçu le voyant bleu CRUISE SPEED LOW s'allumer, voyant qui est resté allumé pendant toute la croisière. Ils ont consulté le QRH et se sont aperçus que l'avion volait moins vite que prévu : 210 kt IAS contre 224 kt calculé au QRH dans les conditions du jour. Ils ont alors appliqué la procédure du manuel d'exploitation et surveillé la vitesse et d'éventuelles autres alertes.

Peu de temps après la mise en descente à l'approche du FL180, l'équipage a entendu un bruit sourd et ressenti une secousse à bord de l'avion. Un appel de la PNC leur a indiqué que le choc a aussi été perçu en cabine.

Le CDB a alors contacté le service de contrôle pour l'informer du choc et demander s'il n'y avait pas des drones militaires en activité. Le contrôleur aérien lui a répondu par la négative. L'équipage s'est questionné sur la nature du choc pendant le reste du vol, mais ne détectant aucun problème sur l'avion ou ses systèmes, il a poursuivi le vol jusqu'à destination, sans émettre de PAN PAN ou de MAYDAY.

Ce n'est qu'une fois au sol que l'équipage a constaté les dégâts après en avoir été informé par l'agent sol.

1.18.5 Témoignage du PNC

La PNC indique que le début du vol s'est passé sans encombre, elle a pu effectuer son service pendant la croisière et ranger le chariot de service. Alors qu'elle était située à l'arrière de l'avion et qu'elle allait commencer à préparer la cabine pour l'atterrissage, elle a entendu une détonation et ressenti une secousse « *comme un passage de dos d'âne* ». Elle a ensuite effectué une inspection de la cabine et des toilettes pour vérifier que tout était en ordre avant de contacter l'équipage technique. Elle a ensuite poursuivi la préparation de la cabine pour l'atterrissage. Il n'y a pas eu d'autre incident jusqu'à la fin du vol.

Elle indique que pendant la croisière, le vol était très calme, « *comme dans une mer d'huile* ».

1.18.6 Événements similaires

Dans le cadre de l'enquête de sécurité, ATR a communiqué au BEA les informations concernant un incident similaire en 2013 sur un ATR 42-500. Cet incident n'avait pas été enquêté selon l'Annexe 13 de l'OACI par l'autorité du pays d'occurrence.

Les circonstances étaient les suivantes : environ 35 s après le début de descente du niveau de croisière au FL140 et avec une vitesse de 225 kt, l'équipage a entendu un bruit sourd et a ressenti une secousse. La vitesse a été réduite par l'équipage à 180 kt. Une inspection a été effectuée en vol et a mis en évidence des dommages sur l'aile droite. L'atterrissement s'est poursuivi néanmoins sans autre incident jusqu'à destination.

Après inspection au sol et examens des pièces, il est notamment identifié que :

- Le fuselage a été endommagé au niveau de la jonction avec l'aile droite ;
- Le volet interne droit a été endommagé ;
- L'empennage vertical a subi des impacts ;
- La trappe du train d'atterrissement droit était manquante ;
- L'écrou de l'assemblage de l'attache arrière de la trappe du TPD était manquant ;
- La vis de l'assemblage de l'attache arrière a été retrouvée libre dans le carénage de l'assemblage ;
- La biellette faisant la jonction entre la trappe et le train d'atterrissement a rompu en fatigue ;
- L'attache avant mâle a rompu par surcharge ;
- Les deux écrous côté gauche étaient desserrés.

L'analyse de sécurité effectuée par ATR, l'opérateur et l'organisme de maintenance a mis en évidence qu'une opération de maintenance sur les trappes de train avait eu lieu peu de temps avant l'événement et que la JIC avait été partiellement appliquée à cause d'un changement d'équipe de mécaniciens pendant la réalisation de la tâche. Il aurait été ainsi possible que certains des écrous des attaches des trappes de trains n'aient pas été serrés.

Mis à part cet événement, aucune autre occurrence de perte de trappe de trains d'atterrissement en configuration trains rentrés n'a été identifiée au cours de l'enquête sur ATR 42.

Sur ATR 72, le système d'attache des trappes de trains d'atterrissement diffère de celui de l'ATR 42. Le design du système a évolué plusieurs fois à la suite de plusieurs pertes de trappes de trains d'atterrissement en configuration trains sortis. Aucune occurrence n'a été signalée en configuration trains rentrés.

1.18.7 Actions de sécurité entreprises depuis l'incident

1.18.7.1 Mesures prises par l'exploitant HOP!

À la suite de l'incident, l'exploitant a lancé une inspection de sa flotte d'ATR 42 ainsi que le remplacement et l'analyse des assemblages vissés lors des checks A qui ont suivi l'incident.

Les résultats de ces mesures figurent au §[1.16.5](#).

1.18.7.2 Mesures prises par le constructeur ATR

ATR a émis le 19/04/2018 le message à tous les opérateurs AOM: 42/2018/03 issue 01 recommandant, dans un délai d'une semaine :

- De vérifier la présence de l'écrou (item 10 IPC 52.81.50 Fig.01) sur les assemblages avant et arrière de fixation des trappes des trains principaux ;
- En l'absence de cet écrou, un ensemble comprenant le boulon, les rondelles et l'écrou devra être remplacé avant le prochain vol conformément à la JIC 52.81.00 RAI 10000 inclus dans l'AMM.

ATR a amendé le 10/12/2018 l'AOM (Réf. AOM: 42/2018/03 issue 02) en indiquant que :

- L'inspection d'un certain nombre d'avions de même type a mis en évidence un certain nombre de déviations et/ou de non conformités par rapport au montage recommandé par la documentation en vigueur au moment de l'accident ;
- En réponse aux constats cités ci-dessus, le constructeur ATR a amendé la carte de travail (AMM JIC 52-81-00 RAI 100000) et la figure 01 de l'IPC 52-81-50 de manière à clarifier :
 - Le couple de serrage à appliquer pour les assemblages vissés des attaches de trappe des trains principaux, avec une plage de couple de serrage de 90-105 in.lbf pour l'assemblage avant et 60-65 in.lbf à l'arrière⁽³³⁾ ;
 - La façon d'installer l'assemblage vissé des attaches de trappe des trains principaux, tête de vis orientée vers l'arrière.

⁽³³⁾ Il est à noter que la plage du couple de serrage est indiquée non pas dans le corps de la JIC comme on peut le voir sur d'autre JIC ATR, mais sur les illustrations.

Le constructeur rappelle également :

- La présence de deux tâches du Document de planification de la maintenance (MPD) en relation avec des inspections / vérifications des points d'attache des trappes des trains principaux qui ont été intégrées ou amendées à la suite de l'incident :
 - 528100-GVI-10000-1 : inspection générale visuelle des dispositifs d'attache des trappes des trains principaux sur le fuselage pour état (« for condition ») à des intervalles de 600 cycles ;
 - 321100-CHK-10010-1 : vérification de la présence de jeu des portes des trains principaux, mesure à des intervalles de 600 cycles.
- Qu'aucun fil à freiner ne doit être installé sur les assemblages vissés des attaches de trappe des trains principaux avant et arrière conformément à la documentation de maintenance approuvée ;
- Que seuls les écrous de P/N MS21043-5/-6 ou autres interchangeables approuvés doivent être installés sur les assemblages vissés des attaches de trappe des trains principaux avant et arrière.

⁽³⁴⁾ Le standard S1000D nécessite que chaque information soit créée comme une donnée individuelle appelé Data Modules (DM) et structurée en éléments XML et métadonnée. Chaque DM est autonome et peut être utilisée partout où cette information est nécessaire.

Note : ATR a lancé ses dernières années les projets EDORA et BIBLO afin de développer sa documentation en ligne en adéquation avec les nouvelles technologies et le retour d'expérience, avec le passage de l'ensemble de sa documentation technique au standard de publication S1000D⁽³⁴⁾.

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

Sans objet.

2 - ANALYSE

2.1 Scénario

L'équipage a décollé vers 18 h 30 de Paris-Orly et a effectué au cours de la montée un premier palier au FL110.

Les constats effectués au cours de l'enquête sur les différentes attaches de la trappe du train principal gauche de l'avion permettent d'établir que l'écrou de l'attache arrière de la trappe s'est dévissé en service jusqu'à sa perte. La vis s'est alors décalée vers l'arrière et a permis à l'attache mâle de sortir de sa fixation, conduisant la trappe de train à se retrouver légèrement désalignée du fuselage.

Ce désalignement a induit un excédent de traînée sur l'avion. Lorsque les conditions d'activation de l'alerte CRUISE SPEED LOW ont été réunies (une première fois au FL110, puis lors de la croisière au FL190), le voyant associé s'est allumé dans le poste de pilotage. L'équipage a appliqué la procédure associée et a continué le vol. L'analyse des données FDR indique que l'excédent de traînée et donc le désalignement de la trappe était présent au moins à partir du premier palier au FL110 et qu'il n'existe probablement pas sur les vols précédents.

Cette position anormale de la trappe a entraîné également des efforts supplémentaires sur les autres points d'attache de la trappe de train, et notamment la biellette qui a rompu en fatigue lors du début de descente.

La perte des points d'attache de la biellette et de l'assemblage arrière ont alors introduit des efforts importants sur le dernier point d'attache principal restant, l'assemblage avant, jusqu'à la rupture par surcharge de l'attache mâle.

Une fois les trois points d'attaches principaux (biellette, assemblages avant et arrière) rendus inefficaces, la trappe a basculé vers le haut contre le fuselage et le hublot autour de sa charnière n°1. Cette situation a généré un bruit et une secousse ressentie par les personnes à bord de l'avion, suivis de la rupture par surcharge de cette même charnière.

La trappe s'est alors séparée du reste de l'avion et a généré les autres dommages constatés sur l'aéronef :

- carénages d'emplanture de l'aile endommagés ;
- rayures sur un hublot ainsi que sur le revêtement environnant ;
- déchirure du revêtement de l'intrados du volet gauche ;
- rayures sur le revêtement de l'intrados de l'aile gauche ;
- impacts de faibles dimensions sur le plan fixe vertical.

Ne comprenant pas ce qui venait de se passer mais voyant que les paramètres de vol étaient normaux, l'équipage a décidé de continuer de manière nominale la descente puis l'atterrissement à Aurillac. Ce n'est qu'au parking que les dégâts ont pu être constatés sur l'avion.

Un événement de 2013 rapporté par ATR (voir §1.18.6) montre des similitudes importantes avec les constatations effectuées lors des examens sur les pièces du F-GPYF (absence de l'écrou et d'une rondelle de l'assemblage arrière, rupture en fatigue de la biellette, traces en fond de carénage, endommagements en divers endroits de la cellule dont l'emplanture de l'aile, les volets et l'empennage vertical). Pour cet événement, l'écrou perdu n'a possiblement pas été serré lors d'une opération de maintenance effectuée peu de temps avant le vol de l'événement.

Bien que les assemblages des trappes de trains principaux ne soient pas jugés comme critiques, ces deux événements démontrent que la simple perte de l'écrou de l'assemblage arrière peut amener à la perte d'une trappe de train principal d'environ 15 kg entraînant des risques pour l'avion mais constituant également un danger pour les personnes et les infrastructures survolées qui ne peut être négligé.

2.2 Facteurs pouvant induire une perte d'écrou

L'écrou perdu n'ayant pu être retrouvé, l'enquête n'a pas permis d'établir la cause exacte de sa perte. Cependant et au vu de l'analyse de la documentation de maintenance du constructeur, des résultats de l'inspection de la flotte de l'exploitant et de l'examen des trois autres écrous du F-GPYF qui ont été récupérés (écrou de l'attache avant de la trappe du train principal gauche et les écrous des attaches avant et arrière de la trappe du train principal droit), l'enquête a mis en évidence plusieurs éléments qui, pris de manière isolée ou combinée, ont potentiellement pu contribuer au dévissage de l'écrou.

La tenue d'un assemblage vissé est dépendante de multiples paramètres définis lors du dimensionnement initial (voir §1.18.1). La modification d'un de ces paramètres peut éventuellement remettre en cause le dimensionnement. Cependant, l'influence réelle de ces modifications sur la tenue des assemblages vissés n'a pas pu être quantifiée au cours de l'enquête (absence de plan d'essai).

2.2.1 Choix de l'écrou

L'examen des assemblages vissés de la flotte des ATR 42 de HOP! a mis en évidence qu'environ 50 % des écrous (et en particulier les trois écrous des attaches de trappes des trains principaux gauche et droit du F-GPYF ayant été récupérés) étaient en inadéquation avec le matériau prévu par ATR lors de la conception initiale de l'assemblage.

Lors de l'enquête, il est apparu qu'il y avait des divergences entre la configuration prévue par ATR lors de la conception initiale des attaches des trappes de trains d'atterrissement principaux et les alternatives autorisées au travers de la documentation de maintenance. Des erreurs de transcription des standards et/ou d'omission d'information dans divers documents (SRM, AMM, SPET), peuvent en effet conduire à un choix inadéquat des P/N alternatifs (voir §1.6.3.2.3.3).

L'écrou manquant à l'origine de la séparation de la trappe a été perdu lors de l'événement et l'enquête n'a pas permis de déterminer l'opération (au moins antérieure à 2015, voir §1.17.1.2) qui a conduit à la première installation de cet écrou ni les caractéristiques de celui-ci. L'hypothèse d'un écrou inapproprié ne peut cependant pas être écartée au vu du taux d'écrou inadéquat sur le reste de la flotte ATR 42 d'HOP! et des caractéristiques des trois écrous restants du F-GPYF.

2.2.2 Application d'un couple de serrage

Le serrage est un élément important de la tenue d'un assemblage vissé. Celui-ci doit en effet être suffisant pour garantir le bon maintien de la liaison vissée au regard des sollicitations appliquées au système sans toutefois dépasser les caractéristiques mécaniques d'un des éléments de l'assemblage.

À la date de l'événement, le couple de serrage n'est pas disponible dans la carte de travail qui décrit les opérations de maintenance pour le remontage des trappes de train ([voir JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION](#)). Il convient donc de chercher l'information dans la documentation générique du constructeur (au travers de l'AMM et du SRM notamment).

Les informations pour déterminer le couple de serrage à appliquer à partir de cette documentation générique, étaient manquantes. De plus, la documentation en question comporte des erreurs (voir §[1.6.3.2.4](#)).

Les entretiens avec les mécaniciens menés au sein des organismes de maintenance Part 145 HOP! et RAS ont montré que ces assemblages vissés n'étaient pas identifiés comme critiques. De plus, étant donné que le couple de serrage n'était pas indiqué sur la carte de travail, ils sont peu à avoir cherché dans la documentation ATR le couple de serrage à appliquer. En pratique, ils appliquent généralement un « *serrage à l'angle* » à 45° (voir §[1.17.1.1](#)).

Les informations fournies par ATR à l'exploitant, pour l'inspection de la flotte HOP! concernant le couple de serrage, comparées aux valeurs indiquées dans la mise à jour de la carte de travail après l'événement (voir §[1.18.7.2](#)), mettent également en évidence des incohérences sur les couples de serrage à appliquer sur ces assemblages.

Plages du couple de serrage	Information d'ATR vers HOP! lors de l'inspection initiale de la flotte	Carte de travail mise à jour par ATR à la suite de l'événement
Assemblage avant (in.lbf)	150-250	90-105
Assemblage arrière (in.lbf)	90-125	60-65

Tableau 7 : Plages de couple de serrage

Il est à noter que la limite basse des valeurs de couples de serrage demandées par ATR à la suite de la modification de la carte de travail, est identique au couple maximal d'autofreinage exercé par l'écrou autorisé par la spécification d'approvisionnement NASM25027 (90 in.lbf pour l'assemblage avant et 60 in.lbf pour l'assemblage arrière).

Ainsi, au vu de la complexité de la documentation, de la faible criticité perçue des assemblages, de la disparité des plages des couples de serrages possibles, il est probable qu'un couple de serrage inadéquat ait été appliqué à l'écrou de l'assemblage arrière gauche du F-GPYF.

2.2.3 Écrou défaillant

Un écrou défaillant (initialement ou après usage) peut également conduire à rendre inefficace un assemblage vissé.

2.2.3.1 Écrou présentant des défaillances initialement

Comme l'a mis en évidence l'AESA au travers du CARI 20-01, certains lots d'écrous approvisionnés suivant les standards NASM21042, MS21042 et NAS1291 peuvent présenter des défaillances pouvant entraîner la rupture de ces derniers.

Comme identifié au §[1.6.3.2.3](#), la norme NAS1291 peut éventuellement être utilisée pour les écrous des attaches des trappes de trains principaux dans le cadre des P/N ALT.

Comme indiqué au §[1.16.5.2](#), il ne peut être écarté que les trois écrous restants des attaches des trappes de trains principaux du F-GPYF correspondent aux standards NAS1291 ou MS21042.

2.2.3.2 Réutilisation altérant les performances de l'écrou

Les assemblages des attaches avant et arrière des trappes de trains possèdent des écrous autofreinants tout métal. La fonction d'autofreinage, élément de sécurité mécanique au dévissage choisi par ATR sur ces assemblages, a pour but de rendre le dévissage difficile sous l'action d'efforts transversaux par rapport à l'axe de la vis et/ou de vibrations. Au fur et à mesure de l'utilisation de ce type d'écrou, le couple d'autofreinage diminue avec le nombre de vissage/dévissage.

À la date de l'événement, la documentation ATR ne fait état d'aucune mention spécifique sur la vérification de la capacité autofreinante avant la réutilisation de ce type d'écrou. Ceux-ci peuvent être réutilisés s'ils respectent des critères de contrôle visuels (voir §[1.6.3.2.5](#)) applicables à tous les écrous. Or une défaillance de la fonction autofreinante n'est généralement pas détectable par ce type de contrôle.

2.3 Actions de contrôle des assemblages

2.3.1 Détection d'un écrou inadéquat

L'enquête a montré qu'il était nécessaire de déposer les carénages protégeant les attaches des trappes de train pour pouvoir effectuer une opération de vérification des écrous. Cependant, même en déposant les carénages, il est difficile de déterminer si l'écrou en place est bien celui désiré notamment au vu de l'absence de marquage sur celui-ci.

Ainsi, une fois qu'un écrou inadéquat est installé sur l'avion, il devient très difficile de détecter l'erreur lors des opérations ultérieures.

2.3.2 Détection d'un dévissage

Un desserrage ou un dévissage partiel ne conduit pas à une perte immédiate de fonctionnalité de l'assemblage (liaison pivot pour ouverture fermeture de la trappe) mais peut intervenir sur plusieurs années comme le montre l'incident du F-GPYF. À l'inverse, une fois l'écrou perdu, la trappe peut se séparer de l'avion dans un temps relativement court de l'ordre de quelques vols.

À la date de l'événement, seule la dépose des carénages lors des opérations de maintenance permet de visualiser un éventuel dévissage de l'assemblage. La fréquence de ces opérations (tous les 9 ans ou 20 000 atterrissages pour la dépose des trains d'atterrissage notamment) et la perception de leur criticité n'a pas permis de détecter un éventuel desserrage progressif de l'écrou du F-GPYF.

3 - CONCLUSIONS

3.1 Faits établis par l'enquête

- L'avion immatriculé F-GPYF a perdu sa trappe de train principal gauche d'environ 15 kg en début de descente vers Aurillac, endommageant notamment l'emplanture de l'aile gauche et un volet ;
- L'écrou de l'assemblage arrière de la trappe du train principal gauche du F-GPYF est manquant et n'a pas été retrouvé ;
- La perte de l'écrou de l'assemblage arrière de la trappe du train principal gauche est à l'origine de la perte de trappe du train principal gauche qui a entraîné les dommages sur l'avion ;
- La cause exacte de la perte de l'écrou n'a pas pu être établie par l'enquête ;
- L'écrou de l'assemblage avant de la trappe du train principal gauche du F-GPYF est non conforme à la configuration prévue lors de la conception initiale (matériau et protection différents de l'*Illustrated Part Catalog* - IPC) ;
- Les écrous des assemblages avant et arrière de la trappe du train principal droit du F-GPYF sont non conformes à la configuration prévue lors de la conception initiale (matériau et protection différents de l'IPC) ;
- Les références (P/N) des trois écrous examinés du F-GPYF n'ont pas pu être déterminées précisément ;
- Des alternatives aux P/N IPC des écrous des assemblages des trappes de trains principaux sont autorisées par ATR au travers de sa documentation générique ;
- La documentation générique concernant les alternatives possibles des écrous comporte des erreurs (notamment sur le matériau et la protection) pouvant amener à installer des écrous de P/N non conforme à l'IPC ;
- La carte de travail (JIC) à la date de l'événement et la documentation générique n'indiquent pas les couple de serrage à appliquer aux assemblages des attaches des trappes de trains pour les P/N IPC ;
- La documentation générique concernant les couples de serrage à appliquer sur les alternatives possibles aux écrous de P/N IPC comporte des erreurs ;
- La dernière opération sur l'assemblage arrière de la trappe du train principal gauche du F-GPYF remonte à juin 2015, lors de la dépose/repose des trains principaux. Les écrous n'ont pas été changés lors de cette opération ;
- L'enquête n'a pas permis de déterminer les opérations qui ont conduit à la première installation de ces écrous sur le F-GPYF ;
- Aucune opération spécifique de vérification liée à ces assemblages n'existe dans le programme de maintenance à la date de l'événement ;
- La documentation de maintenance générique d'ATR permet une réutilisation des écrous sans contrôle de leur capacité autofreinante ;
- L'examen, postérieur à l'incident, des assemblages vissés de la flotte des ATR 42 de HOP! a mis en évidence qu'environ 50 % des écrous n'étaient pas conformes à l'IPC ;
- Les divers écarts constatés sur les assemblages vissés de la flotte ATR 42 de HOP! ne sont a priori pas en relation avec les interventions faites par un atelier de maintenance en particulier ;
- Les écrous utilisés pour les assemblages des attaches de trappe sont également présents ailleurs sur l'avion ;
- Les erreurs dans la documentation de maintenance générique peuvent également affecter d'autres assemblages vissés sur l'avion.

3.2 Facteurs contributifs

La perte de l'écrou de l'assemblage arrière de la trappe du train principal gauche est à l'origine de la séparation de celle-ci avec l'aéronef. Il n'a cependant pas été possible d'établir la cause exacte de la perte de l'écrou.

L'examen des attaches des trappes de trains gauche et droit du F-GPYF, ainsi que celles de la flotte ATR 42 d'HOP!, a toutefois permis de mettre en évidence des défauts de conformité de ces assemblages.

L'enquête a mis en évidence des erreurs dans la documentation de maintenance générique qui peuvent conduire à l'installation de combinaisons vis/écrou en dehors de l'état de l'art. Les conséquences de ces écarts aux bonnes pratiques sur la tenue de l'assemblage n'ont pu être déterminées précisément au cours de l'enquête mais peuvent tendre vers une perte de fonction de l'assemblage.

Ainsi, les combinaisons des facteurs organisationnels et humains suivants ont potentiellement contribué au desserrage puis au dévissage de l'écrou de l'assemblage arrière de la trappe du train principal gauche :

- La documentation de maintenance ATR concernant le choix des écrous à utiliser en alternative au P/N IPC est complexe et comporte des erreurs pouvant conduire à un choix d'écrou de P/N inadéquat ;
- L'information sur le couple de serrage à appliquer sur cet écrou et pour l'ensemble de ces alternatives était absente de la documentation de maintenance ATR ;
- La documentation de maintenance générique ATR permet une réutilisation des écrous sans contrôle de leur capacité autofreinante. La carte de travail de dépose/repose des trappes de trains ne précise pas qu'il s'agit d'un écrou autofreiné et ne demande pas de contrôler sa capacité autofreinante ou son remplacement par un écrou neuf.

4 - RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

Rappel : conformément aux dispositions de l'article 17.3 du règlement n° 996/2010 du Parlement européen et du Conseil du 20 octobre 2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité dans un accident, un incident grave ou un incident. Les destinataires des recommandations de sécurité rendent compte à l'autorité responsable des enquêtes de sécurité qui les a émises, des mesures prises ou à l'étude pour assurer leur mise en œuvre, dans les conditions prévues par l'article 18 du règlement précité.

4.1 Assemblages vissés : choix des P/N y compris en alternative et couple de serrage

L'enquête sur l'incident grave du F-GPYF a montré que si le couple de serrage associé à un assemblage vissé n'est pas explicitement mentionné dans la carte de travail, alors la détermination de ce couple de serrage au travers de la documentation de maintenance générique du constructeur est difficile et comprend de plus des erreurs et incohérences pouvant amener l'opérateur de maintenance à appliquer un couple de serrage inadéquat.

De même, la détermination des P/N alternatifs des assemblages vissés au travers de la documentation de maintenance générique du constructeur est également complexe et comprend des erreurs et incohérences pouvant amener l'opérateur de maintenance à choisir des pièces inadéquates. De plus, 50 % des écrous utilisés sur les assemblages vissés des ATR 42 de la flotte de HOP! se sont avérés inadéquats.

Or le couple de serrage et le P/N (déterminant notamment le matériau et la protection) des pièces des assemblages vissés font partie des caractéristiques permettant d'assurer la fonction de tenue de l'assemblage et ainsi d'éviter l'éventuel desserrage puis dévissage de l'assemblage. Comme l'illustre l'incident grave du F-GPYF, le dévissage d'un assemblage vissé peut entraîner un danger pour l'avion autant que pour les personnes survolées.

L'enquête s'est concentrée sur les assemblages vissés des attaches des trappes de trains principaux. Cependant, les assemblages vissés sont présents en de nombreux autres endroits sur ATR et les problématiques soulevées par l'enquête y sont également applicables.

En conséquence, le BEA recommande :

- **qu'ATR s'assure que toutes les pièces standards avec écrous soient sans ambiguïté documentaire sur le choix du P/N à utiliser y compris en alternative, ainsi que sur le couple de serrage à appliquer.**

[Recommandation FRAN 2021-001]

4.2 Politique de réutilisation des écrous autofreinés

L'enquête sur le F-GPYF a montré qu'ATR autorise en général la réutilisation des écrous autofreinés sans contrôle de leur capacité autofreinante.

La capacité autofreinante d'un écrou est une barrière de sécurité permettant de rendre difficile le dévissage de celui-ci. Or l'état de l'art en la matière indique qu'au fur et à mesure de l'utilisation de ce type d'écrou, la capacité d'autofreinage diminue avec le nombre de vissage/dévissage.

Ces écrous autofreinés étant présents en de nombreux endroits sur les avions ATR, le BEA recommande en conséquence :

- **qu'ATR définit une politique de réutilisation des écrous autofreinés et s'assure que l'information de la présence d'écrous autofreinés est facilement disponible pour l'opérateur de maintenance.**

[Recommandation FRAN 2021-002]

ANNEXES

Annexe 1

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION en vigueur à la date de l'événement

Annexe 2

IPC 52 81 50

Annexe 3

Détermination du P/N d'un écrou suivant NSA5050 avec un revêtement en argent en alternative au P/N MS21043 suivant le SRM 51-40-30 « *Nuts and alternatives* »

Annexe 4

Extraits du SRM 51-40-30 intitulé « *Nuts and alternatives* » en date d'octobre 2018

Annexe 5

Détails des incohérences pour la détermination des couples de serrage basiques

Annexe 6

Continued airworthiness review item of MS21042, NASM21042 and NAS 1291 standard fasteners (nuts) used in critical installations

Annexe 7

Réponse ATR au CARI 20-01 du 30/08/2018

Annexe 1

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION en vigueur à la date de l'événement



Customer : HOP Type : ATR42-500 Rev. Date : January 1, 2018	Manual: AMMJIC Selected effectivity: ALL
JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION	

MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION

**** ON A/C ALL**

MINOR INFORMATION ADDITION

TECHNICAL DATA

ZONING DATA

ZONE : 193
194

PREPARATION

WORK	SKILL	MEN	MAN-HOURS
------	-------	-----	-----------

ELAPSES TIME

BULK MATERIAL : SYNTHETIC GREASE 04-004

PUBLICATIONS

[JIC : 32-31-55-RAI-10000](#)
[JIC : 32-31-00-FUT-10000](#)
[JIC : 12-22-32-LUB-10000](#)
[JIC : 52-81-00-ADJ-10000](#)

TASK DESCRIPTION

001 WARNING

1. BEFORE UNDERTAKING MAINTENANCE WORK ON A/C
DISPLAY WARNING NOTICES IN FLT COMPARTMENT
ON PANEL 404VU(VM) PROHIBITING THE OPERATION
OF EITHER HYDRAULIC SYSTEM OR LANDING GEAR
AND/OR ASSOCIATED CONTROLS.
2. WHEN PERFORMING OPERATIONAL TESTS MAKE
CERTAIN THAT THE FOLLOWING SAFETY RULES
ARE OBSERVED:
A. SAFETY PINS ARE IN POSITION AND THEIR RED

Print Date: April 19, 2018 Local Time

Page 1 of 15



Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION

MARKER FLAGS VISIBLE.

- B. A SAFETY BARRIER IS PLACED TO RESTRICT AREAS SO AS UNAUTHORIZED PEOPLE CANNOT ACCIDENTALLY OBSTRUCT ROTARY OR ANGULAR MOVEMENT OF LANDING GEARS CAUSING PERSONNEL INJURY.
- C. BEFORE PERFORMING ANY TYPE OF MANEUVERS WARN SURROUNDING PERSONNEL OF YOUR INTENTIONS.
- D. NEVER MAKE AN ADJUSTMENT WITHOUT FIRST ISOLATING HYDRAULIC POWER AND POSITIONING SAFETY PINS.

002 REMOVAL OF MLG DOOR LINK, DOOR PIVOT POINT

SEE JOB INSTRUCTION CARD

JIC : 323155-RAI-10000

003 L/G NORMAL RETRACTION

SEE JOB INSTRUCTION CARD

JIC : 323100-FUT-10000

004 REMOVAL OF MAIN L/G DOORS

NOTE: THE FOLLOWING PROCEDURE IS IDENTICAL FOR BOTH SIDES (LH OR RH).

REF. FIG. :528100-RAI-00106

1. UNSCREW NUTS (1), WASHERS (2) AND DISCONNECT BONDING LEADS (3) FROM MLG DOORS.

REF. FIG. :528100-RAI-00102

NOTE: RECOVER WITH CARE SHIM(S) (4) BECAUSE THEY ARE VERY IMPORTANT IN ADJUSTMENT OF THE FOLDING DOORS.

2. UNSCREW NUTS (3), WITHDRAW SCREWS (1) WITH RELEVANT WASHERS (2), RECOVER SHIMS (4) AND

Print Date: April 19, 2018 Local Time

Page 2 of 15



Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION

DISCONNECT HINGES (8).

REF. FIG. :528100-RAI-00100

3. UNSCREW SCREWS (1), REMOVE FAIRINGS (2) AND
RECOVER SHIMS (3) IF PRESENT.

CAUTION: HOLD THE MLG DOORS BY HANDS IN ITS
POSITION WHEN REMOVE BOLTS (9), THEN
WITHDRAW IT FROM FEMALE HINGES (8)
WITH CARE.

4. UNSCREW NUTS (14), WITHDRAW WASHERS (13),
BOLTS (9) WITH WASHERS (10) AND BUSHINGS
(11).

5. REMOVE MLG DOORS AND PLACE IT ON SOMETHING
SOFT.

005 INSTALLATION OF MAIN L/G DOORS

REF. FIG. :528100-RAI-00100

NOTE: THE FOLLOWING PROCEDURE IS IDENTICAL FOR
BOTH SIDES (LH OR RH).

TAKING CARE NOT TO DAMAGE THE DOOR ASSY.
THOROUGHLY COAT SHAFT OF BOLTS (9) AND
INTERNAL DIAMETER OF BUSHINGS (11) WITH
SYNTHETIC GREASE MAT 04-004 PRIOR TO
FINAL ASSEMBLY.

1. PLACE THE MLG DOORS MALE HINGES (12) IN THE
FEMALE HINGES (8) AND INSTALL BUSHINGS (11),
BOLTS (9) WITH WASHERS (10) (13), NUTS (14)
AND TIGHTEN THEM.

REF. FIG. :528100-RAI-00104

2. LOOSEN THE NUTS OF FWD AND REAR STOPS (1)
AND RETRACT THEM AS FAR AS POSSIBLE AND
TIGHTEN THEM.

3. DRIVE THE MLG DOORS BY HANDS IN CLOSED
POSITION AND MAKE SURE THAT IT IS FLUSH
WITH AIRCRAFT PROFILE.

4. LOOSEN THE NUTS OF FWD AND REAR STOPS (1)

Print Date: April 19, 2018 Local Time

Page 3 of 15



Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION

AND BRING THE STOPS IN CONTACT WITH MLG
DOORS WITHOUT STRESS.

REF. FIG. :528100-RAI-00102

5. CONNECT HINGES (8), PLACE SHIMS (4) AND
BONDING LEADS (7).
6. INSTALL SCREWS (1), WASHERS (2), NUTS (3)
AND TIGHTEN THEM.
7. VERIFY THAT HINGE PINS (5) ARE WELL
INSTALLED IN THE HOUSING AND BLOCKED BY
SLOTTED PINS (6).

REF. FIG. :528100-RAI-00106

8. CONNECT BONDING LEADS (3) IN SAME POSITION,
INSTALL WASHERS (2), NUTS (1) AND TIGHTEN
THEM.

REF. FIG. :528100-RAI-00100

9. INSTALL FAIRINGS (2), SHIMS (3) IF
PREVIOUSLY REMOVED, SCREWS (1) AND TIGHTEN
THEM.

006 MLG AND MLG DOORS LUBRICATION

SEE JOB INSTRUCTION CARD

JIC : 122232-LUB-10000

007 L/G NORMAL EXTENSION

SEE JOB INSTRUCTION CARD

JIC : 323100-FUT-10000

008 INSTALLATION OF MLG DOOR LINK, DOOR PIVOT POINT

SEE JOB INSTRUCTION CARD

JIC : 323155-RAI-10000

009 MLG DOOR ADJUSTMENT

Print Date: April 19, 2018 Local Time

Page 4 of 15



Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION

SEE JOB INSTRUCTION CARD

JIC : 528100-ADJ-10000

010 NORMAL EXTENSION AND RETRACTION FUNCTIONAL TEST

SEE JOB INSTRUCTION CARD

JIC : 323100-FUT-10000

(Ref Fig. 52-81-00 MLG DOORS REMOVAL AND INSTALLATION)

52-81-00

52-81-00

52-81-00

52-81-00

Print Date: April 19, 2018 Local Time

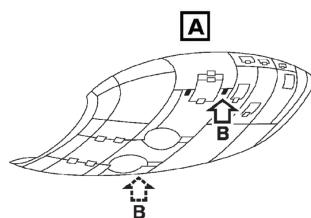
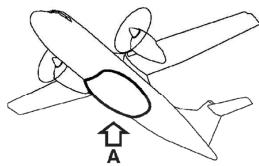
Page 5 of 15



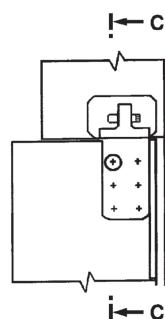
Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

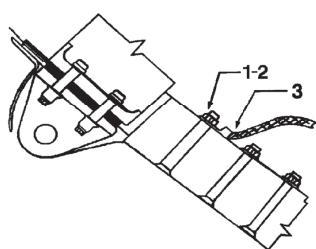
JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION



B
LH SHOWN
RH SYMMETRICAL



SECTION
C - C



SJ5_528100_RAI_00106_002_C_AB

Print Date: April 19, 2018 Local Time

Page 6 of 15



Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION

Figure 52-81-00-RAI-00106-002 - MLG DOORS REMOVAL AND INSTALLATION
** ON A/C ALL

Print Date: April 19, 2018 Local Time

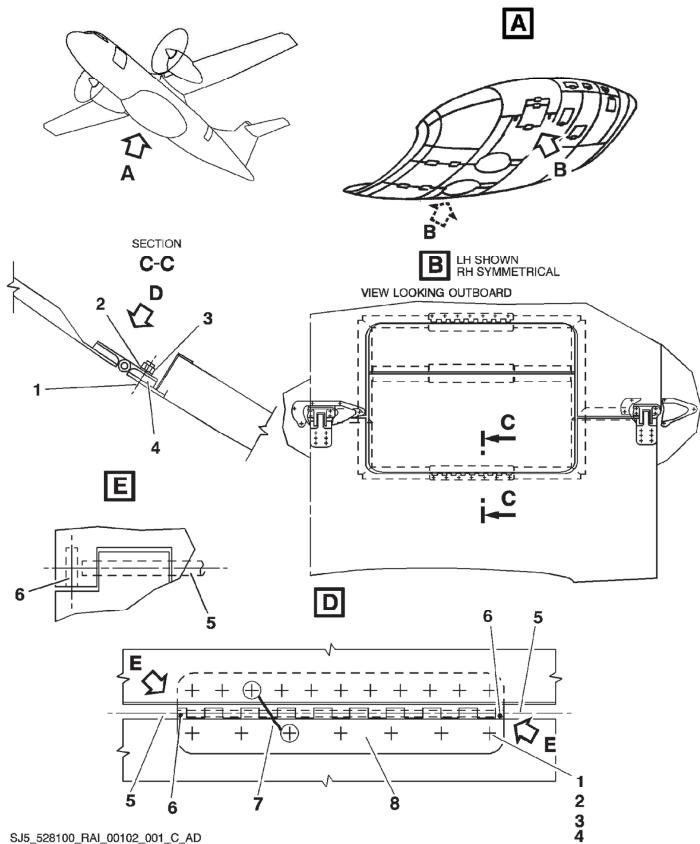
Page 7 of 15



Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION



SJ5_528100_RAI_00102_001_C_AD

Print Date: April 19, 2018 Local Time

Page 8 of 15



Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION

Figure 52-81-00-RAI-00102-001 - MLG DOORS REMOVAL AND INSTALLATION
** ON A/C ALL

Print Date: April 19, 2018 Local Time

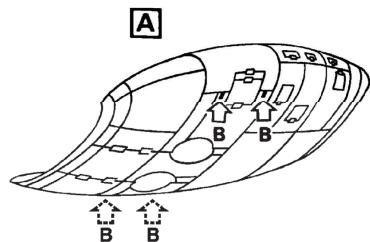
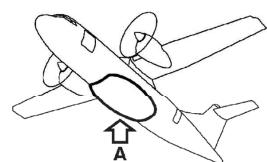
Page 9 of 15



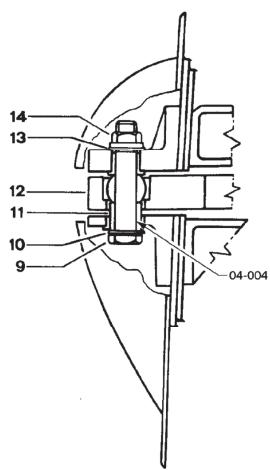
Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

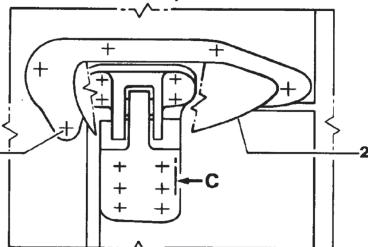
JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION



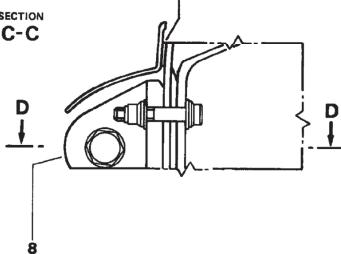
SECTION
D - D



B LH SHOWN
RH SYMMETRICAL



SECTION
C - C



SJ5_528100_RAI_00100_001_C_AC

Print Date: April 19, 2018 Local Time

Page 10 of 15



Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION

Figure 52-81-00-RAI-00100-001 - MLG DOORS REMOVAL AND INSTALLATION
** ON A/C ALL

Print Date: April 19, 2018 Local Time

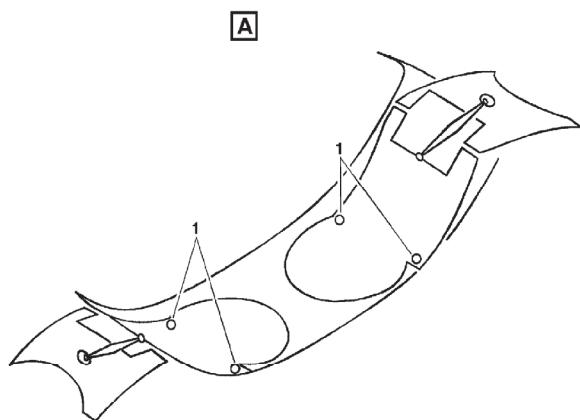
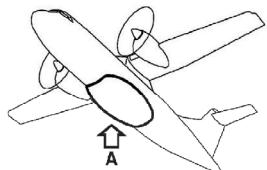
Page 11 of 15



Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION



SJS_528100_RAI_00104_001_C_AB

Print Date: April 19, 2018 Local Time

Page 12 of 15



Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION

Figure 52-81-00-RAI-00104-001 - MLG DOORS REMOVAL AND INSTALLATION
** ON A/C ALL

Print Date: April 19, 2018 Local Time

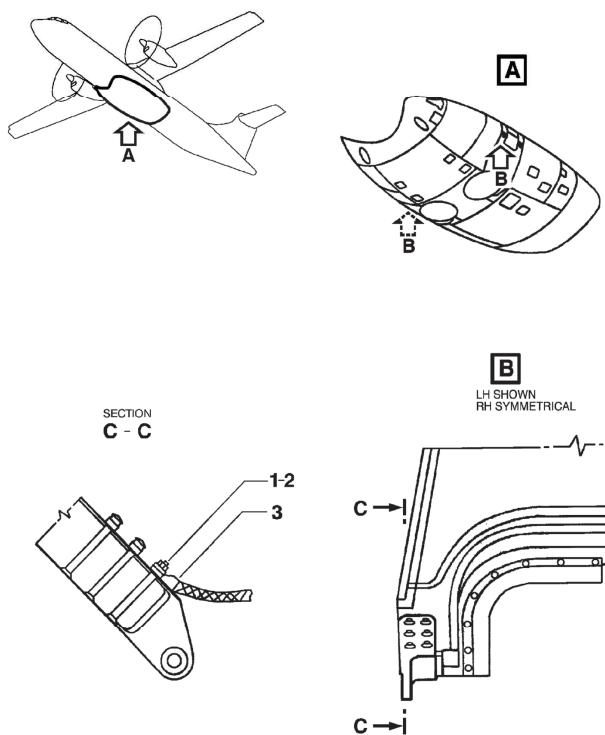
Page 13 of 15



Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION



SJ5_528100_RAI_00108_003_C_AB

Print Date: April 19, 2018 Local Time

Page 14 of 15



Customer : HOP
Type : ATR42-500
Rev. Date : January 1, 2018

Manual: AMMJIC
Selected effectivity: ALL

JIC 52-81-00 RAI 10000 : MAIN L/G DOORS REMOVAL AND INSTALLATION

Figure 52-81-00-RAI-00108-003 - MLG DOORS REMOVAL AND INSTALLATION
** ON A/C ALL

Print Date: April 19, 2018 Local Time

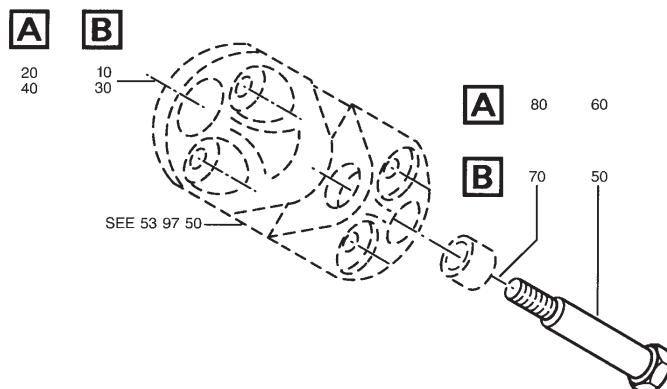
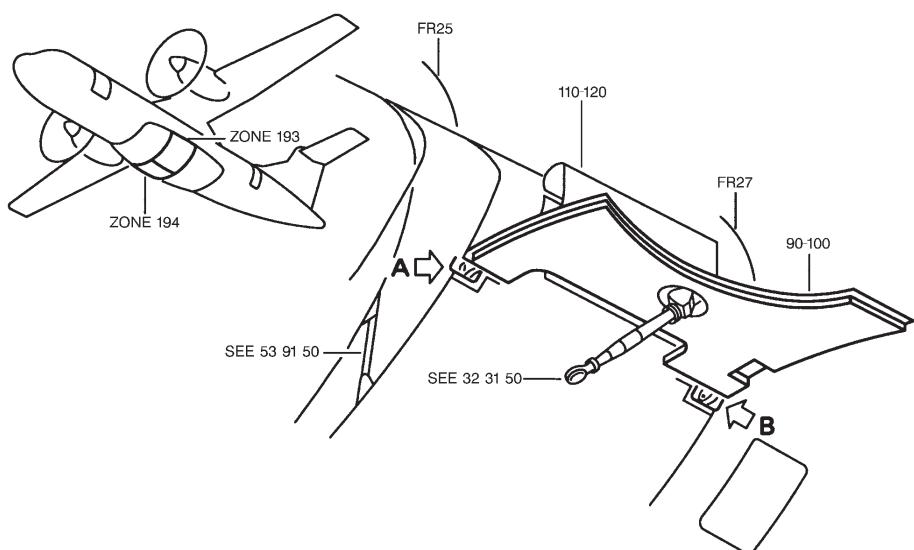
Page 15 of 15

Annexe 2

IPC 52 81 50



ILLUSTRATED PARTS CATALOG



SP5 52 81 50 01 A

DOOR INSTL-FR25-FR27,Z193

FIGURE 1

Printed in France

52-81-50

PAGE 1-0
JAN.01/17



ILLUSTRATED PARTS CATALOG

FIG-ITEM	PART NUMBER	NOMENCLATURE	USAGE FROM TO	UNIT PER ASSY
1 - 1J	S5397005015060	DOOR INSTL-FR25-FR27, (NP) Z193 (LH)		RF
- 2J	S5397005015063	DOOR INSTL-FR25-FR27, (NP) Z194 (RH)		RF
10	MS21043-5	.NUT		1
20	MS21043-6	.NUT		1
30	ASNA2397C516L	.WASHER OPT TO AN960C516L	VT0000	1
40	ASNA2397C616L	.WASHER OPT TO AN960C616L	VT0000	1
50	NTA11159-5SU22	.BOLT OPT TO BACB30LJ5SU22 (V81205)		1
60	NTA11155-6H26	.BOLT OPT TO BACB30LE6H26		1
70	NTA111551-5ACU	.WASHER		1
80	NTA111551-7ACU	.WASHER OPT TO BACW10BP7ACU (V81205)		1
90G	S5287130402850	.DOOR ASSY-MLG (LH) SEE 52-81-50-06E FOR DET RPLS S5287130401850		1
90H	S5287130402850	.DOOR ASSY-MLG (LH) SEE 52-81-50-06E FOR DET RPLS S5287130401850		1
100G	S5287130402950	.DOOR ASSY-MLG (RH) SEE 52-81-50-06E FOR DET RPLS S5287130401950		1
100H	S5287130402950	.DOOR ASSY-MLG (RH) SEE 52-81-50-06E FOR DET RPLS S5287130401950		1
110C	S5287130502060	.DOOR INSTL-CONCERTINA (NP) (LH) SEE 52-81-50-10C FOR DET		1
120C	S5287130502160	.DOOR INSTL-CONCERTINA (NP) (RH) SEE 52-81-50-10C FOR DET		1

- ITEM NOT ILLUSTRATED

MISSING ITEMS AND VARIANTS ARE NOT APPLICABLE

52-81-50PAGE 1 - 1
JAN.01/17

Printed in France

Annexe 3

Exemple : Détermination du P/N d'un écrou suivant NSA5050 avec un revêtement en argent en alternative au P/N MS21043 suivant le SRM 51-40-30 « Nuts and alternatives »

1. La table 1 indique que les matériaux et protections sont décrits dans la table 3.

STANDARD/ SPECIFICATION	DESCRIPTION	MATERIAL	FINISH	ALTERNATIVE	
				TWO WAY	ONE WAY
NSA5050  NSA5050	SELF LOCKING NUT SHAKEPROOF WASHER	Table 3	Table 3	ABS0050 MS21043 NAS1726	HW17

Source : ATR

Figure 25 : Extrait de la table 1 du SRM514030-00-001-A01 page 14

2. La table 3 nous indique qu'il y a deux combinaisons matériau/protection possibles pour un écrou (nut) suivant NSA5050.

1. Combinaison n° 1 : acier (code : -) / protection : cadmium (code : none)
2. Combinaison n°2 : acier inoxydable (code : C) / protection : argent (code : none)

STANDARD/ SPEC.	COMPONENT										
	NUT						WASHER			SHELL	CLIP
	CODE	MAT.	CODE	PROT.	CODE	LUBRI-CATION	MAT.	PROT.	LUBRI-CATION		
NSA5050	-	STEEL ALLOY	NONE	Cd.	NONE	CETHYL ALCOHOL	CARBON STEEL	Cd.	CETHYL ALCOHOL	NONE	NONE
	C	CRES		SILVER PLATE			CRES	PASS-IVATE			

Source : ATR

Figure 26 : Extrait de la table 3 du SRM514030-00-001-A01 page 41⁽³⁵⁾

3. Enfin la table 2 indique comment est écrit le P/N. Ainsi pour la combinaison n°2 avec revêtement en argent est NSA5050 -5C.

⁽³⁵⁾ Le standard NSA5050 permet aussi de définir des écrous.

STANDARD/ SPECIFICATION	CODIFICATION
NSA5050	NSA5050 -12 C STANDARD NUMBER MATERIAL CODE (SEE TABLE 3) DIA. CODE

Source : ATR

Figure 27 : Extrait de la table 2 du SRM514030-00-001-A01 page 29

Annexe 4

Extraits du SRM 51-40-30 intitulé « *Nuts and alternatives* » en date d'octobre 2018

MS21043 :

STANDARD/ SPECIFICATION	DESCRIPTION	MATERIAL	FINISH	ALTERNATIVE	
				TWO WAY	ONE WAY
MS21043  MS21043	HEXAGON NUT SELF LOCKING LIGHT HEIGHT (THIN)	Table 3	Table 3	NAS1291 NTA11354 BACN10JC NSA5050	-

Source : ATR

Figure 28 : Extrait de la table 1 du SRM514030-00-001-A01 page 6

STANDARD/ SPECIFICATION	CODIFICATION	
MS21042 MS21043 MS21051	MS21042 STANDARD NUMBER	L 3 DIA. CODE LUBRICATION CODE (SEE TABLE 3)

Source : ATR

Figure 29 : Extrait de la table 2 du SRM514030-00-001-A01 page 26

STANDARD /SPEC.	COMPONENT										
	NUT					WASHER				SHELL	CLIP
	CODE	MAT.	CODE	PROT.	CODE	LUBRI- CATION	MAT.	PROT.	LUBRI- CATION		
MS21043 MS21087	NONE	CRES	NONE	SILVER PLATE	NONE	YES	NONE		None	None	

Source : ATR

Figure 30 : Extrait de la table 3 du SRM514030-00-001-A01 page 38

NSA5050 :

STANDARD/ SPECIFICATION	DESCRIPTION	MATERIAL	FINISH	ALTERNATIVE	
				TWO WAY	ONE WAY
NSA5050  NSA5050	SELF LOCKING NUT SHAKEPROOF WASHER	Table 3	Table 3	ABS0050 MS21043 NAS1726	HW17

Source : ATR

Figure 31 : Extrait de la table 1 du SRM514030-00-001-A01 page 14

STANDARD/ SPECIFICATION		CODIFICATION							
NSA5050		NSA5050	-12	C	MATERIAL CODE (SEE TABLE 3) DIA. CODE				
		STANDARD NUMBER							

Source : ATR

Figure 32 : Extrait de la table 2 du SRM514030-00-001-A01 page 29

STANDARD /SPEC.	COMPONENT										
	NUT					WASHER				SHELL	CLIP
	CODE	MAT.	CODE	PROT.	CODE	LUBRI-CATION	MAT.	PROT.	LUBRI-CATION		
NSA5050	-	STEEL ALLOY	NONE	Cd.	NONE	CETHYL ALCOHOL	CARBON STEEL	Cd.	CETHYL ALCOHOL	NONE	NONE
	C	CRES		SILVER PLATE		CRES	PASS-IVATE				

Source : ATR

Figure 33 : Extrait de la table 3 du SRM514030-00-001-A01 page 41

NTA11354 :

STANDARD/ SPECIFICATION	DESCRIPTION	MATERIAL	FINISH	ALTERNATIVE	
				TWO WAY	ONE WAY
NTA11354  NTA11354	SELF LOCKING NUT	Table 3	Table 3	MS21042 MS21043	-

Source : ATR

Figure 34 : Extrait de la table 1 du SRM514030-00-001-A01 page 18

STANDARD/ SPECIFICATION		CODIFICATION							
NTA11354		NTA11354	CH	3	DASH NUMBER MATERIAL CODE AND PROTECTION CODE (SEE TABLE 3)				
		STANDARD NUMBER							

Source : ATR

Figure 35 : Extrait de la table 2 du SRM514030-00-001-A01 page 34

STANDARD /SPEC.	COMPONENT																
	NUT					WASHER				SHELL	CLIP						
	CODE	MAT.	CODE	PROT.	CODE	LUBRI-CATION	MAT.	PROT.	LUBRI-CATION								
NTA11354 NTA11452 NTA11453 NTA11454 NTA11457	NONE	STEEL ALLOY	NONE	Cd.	NONE	SILVER PLATE	YES	NONE		NONE	NONE						
			NONE	SILVER PLATE													
	C	CRES	M	PASS-IVATE	NONE												
			D	Cd.													

Source : ATR

Figure 36 : Extrait de la table 3 du SRM514030-00-001-A01 page 43

STANDARD/ SPECIFICATION	DESCRIPTION	MATERIAL	FINISH	ALTERNATIVE	
				TWO WAY	ONE WAY
NAS1291 	HEXAGON NUT SELF LOCKING	Table 3	Table 3	NTA11303 NAS679 MS21042 MS21043 HL42	-

Source : ATR

Figure 37 : Extrait de la table 1 du SRM514030-00-001-A01 page 13

STANDARD /SPEC.	COMPONENT										
	NUT						WASHER			SHELL	CLIP
	CODE	MAT.	CODE	PROT.	CODE	LUBRI- CATION	MAT.	PROT.	LUBRI- CATION		
NAS1291	NONE	STEEL	NONE	Cd.	NONE	NONE	NONE			NONE	NONE
	C	CRES		SILVER PLATE			NONE				

Source : ATR

Figure 38 : Extrait de la table 3 du SRM514030-00-001-A01 page 40

Annexe 5

Détails des incohérences pour la détermination des couples de serrage basiques

□ AMM 20-21-22 : Couples de serrage pour la combinaison NTA11354-5/NTA11155-5US22

Deux tableaux (tous deux référencés sous la table 5) donnent deux plages différentes de couple de serrage pour la combinaison NTA11354-5/NTA11155-5US22.

■ Page 28 : 60-35 in.lbs. Une erreur de typographie semble être présente ici.

La première valeur de la plage du couple de serrage (censée être la valeur minimale) est en effet supérieure à la deuxième valeur de la plage (censée être la valeur maximale).

NUT TIGHTENING TORQUE			
SCREW		ALL	
NUT		NTA11353 NTA11354	
DIAMETER	THREAD SIZE mm (in.)	DRY OR LUBRICATED SCREW	
		mdaN min – max	in.lbs min – max
5/16-24	7.94 (0.3125)	0.68 – 0.40	60 – 35
3/8-24	9.53 (0.3750)	1.07 – 4.07	95 – 360

Source : ATR

Figure 39 : Extrait de l'AMM 20-21-12 Page 28 - Aug 01/08⁽³⁶⁾

■ Page 27 : 90 – 125 in.lbs car la vis est lubrifiée. L'état de lubrification de la vis est indiqué dans le SRM 51-40-21 table 3.

NUT TIGHTENING TORQUE					
SCREW		NAS1138 NAS1151 THRU NAS1158 NAS606 NAS623 NAS1801 NAS1802 NAS1100 NAS1102 NAS1131			
NUT		MS21042 NTA11353 NTA11354			
DIAMETER	THREAD SIZE mm (in.)	DRY SCREW		LUBRICATED SCREW	
		mdaN min – max	in.lbs min – max	mdaN min – max	in.lbs min – max
5/16-24	7.94 (0.3125)	1.13 – 1.69	100 – 150	1.02 – 1.41	90 – 125
3/8-24	9.53 (0.3750)	1.81 – 2.71	160 – 240	1.68 – 2.26	150 – 200

Source : ATR

Figure 40 : Extrait de l'AMM 20-21-12 Page 29 - Aug 01/08

⁽³⁶⁾ Attention, screw = all, veut dire que l'on peut utiliser toutes les vis qui sont listées dans la table 1 de l'AMM 20-21-12. Les standards des vis NTA11155 et NTA11159 y sont bien référencés.

□ SRM 51-25-02 : Détermination des couples de serrage basiques

De manière similaire à l'AMM chapitre 20, le SRM chapitre 51-25-02 présente aussi des tables à multiples entrées. Il est cependant indiqué en préambule (voir Figure 41) que la table 38 doit être utilisée pour appliquer les couples de serrage pour toutes les attaches concernant les portes⁽³⁷⁾. Or, la table 38 est intitulée « *Oversize Bores Close-Tolerance Bolts (NSA 5026 to NSA 5029)* » et ne contient aucun couple de serrage.

F. Basic Torque Values

The basic values are defined in [Table 55](#) to [Table 66](#) and [Table 48](#) to [Table 54](#).

NOTE : Use [Table 38](#) to apply the torque in the following areas:

- MLG fitting attachment (truss, struts and side brace fittings on the fuselage);
- Wing-to-fuselage fitting (fuselage side) on frames 25 and 27;
- Fin-to-fuselage fitting
- All fittings concerning doors, fuselage and empennages.

Source : ATR

Figure 41 : Extrait du SRM 51-25-02 page 10

⁽³⁷⁾ La trappe de train principal est appelée dans l'IPC : « *Main Landing gear door* », elle est donc concernée par ce préambule.

Annexe 6

Continued airworthiness review item of MS21042, NASM21042 and NAS 1291 standard fasteners (nuts) used in critical installations

 EASA European Aviation Safety Agency	CARI :	20-01
	ISSUE :	1
CONTINUING AIRWORTHINESS	DATE :	30 August 2018
REVIEW ITEM	PAGE No.:	1 of 4
	STATUS:	Open
	NEXT ACTION :	TC Holder(s)

SUBJECT: Continued airworthiness of MS21042, NASM21042 and
NAS 1291 standard fasteners (nuts) used in critical
installations

REQUIREMENT(S): Part 21.A.307

APPLICABILITY: Rotorcraft and Large Aeroplanes

PRIMARY PANEL: 3 (Structures)

SECONDARY PANELS: 4 (Hydro-mechanical Systems), 7 (Powerplant), 13 (Transmission)

IDENTIFICATION OF ISSUE:

Standard fasteners (nuts and bolts) are widely used on products, parts and appliances certified by the Agency. Deviations from the standard, or installation issues may result in unexpected failure of the fastener with consequences at the aircraft level. Within the last few years an accumulation of certain failed standard fastener nuts in aviation has been observed. These failures may have severe consequences at the aircraft level when used in critical installations.

The Agency has identified that the standard fasteners listed in Table 1 have exhibited higher failure rates than other standard parts. These failures are potentially due to the specific standards being particularly sensitive to one or more of the following:

- 1) Manufacturing process and quality issues;
- 2) Installation issues.

Each TCH may have a different approach to the use of these fasteners in design and expectations for production and quality by POA holders and MOA holders for installation. The intent of this CARI is to ensure that TCH's assess the risk of continued use of the nuts listed in Table 1.

In cases where service history does not support continued use of these standard fasteners in specific

applications, the TCH's should provide an action plan to mitigate the risk associated with continued use of the fasteners.

EASA POSITION (ISSUE 1, DATED 28.08.2018):

Failures of standard fasteners may have severe consequences at the aircraft level when used in critical installations. This Continued Airworthiness Review Item (CARI) is therefore addressed to TCHs of rotorcraft and large aeroplanes. The TCH's are expected to confirm that their existing designs are not exposed to potential unsafe conditions from continued use of these nuts and to take corrective action where this is not the case. The extent to which products are affected will be dependent on the level of risk, taking into account service experience and the level of safety expected at the aircraft level. This CARI provides these TCHs with guidance on performing a continued airworthiness review and requests specific actions consistent with the unsafe conditions. The TCHs are expected to provide the Agency with a report detailing existing and proposed actions.

Continued Airworthiness Review

The Agency has identified through service experience that the standard fasteners listed in Table 1 have been failing at an unacceptable rate since earlier initiatives such as SIBs, resulting in several Airworthiness Directives being issued relating to the same standard fasteners. The root causes of these failures have not yet been identified, however, inappropriate installations and poor quality are among the contributing factors leading to higher than expected failure rates.

Table 1

Standard	Description	Specific points of concern for all of these nuts
NASM21042	Nut	Thin walled; not designed as a tension nut.
MS21042	Nut	Several cases of hydrogen embrittlement or physical defects leading to common cause failures including complete loss of bolt retention function.
NAS 1291	Nut	Loss of locking capability. Failure to adhere to the installation requirements of NASM33588.

In order to reduce the risk of critical installations failing through the continued use of these standard nuts, the Agency requests that all TCHs of rotorcraft and large aeroplanes complete the following actions and provide the Agency with a report highlighting the results:

1. If any of the standard parts listed in Table 1 are used in critical installations provide the following information:
 - 1.1 Any reported failures.
 - 1.2 Any corrective actions taken to mitigate the risks.
 - 1.3 If no actions are taken, please explain the rationale supporting the decision to continue to use the parts.
2. In cases where any of the fasteners in Table 1. are used in critical installations, explain how the Instructions for Continued Airworthiness are adequate to ensure that the airworthiness condition of the aircraft and its parts are maintained, particularly if failures are associated with maintenance errors such as incorrect installation, torque or re-use. This should include ensuring that type design fasteners are only replaced by equivalent type design fasteners (i.e. a standard fastener is not an eligible replacement part).
3. Explain company continued airworthiness procedures and how it protects the fleet, in case of failures of fasteners, including standard parts.
4. Provide a report to the Agency with a response to this CARI within 6 months.

The Agency may take further actions concerning the standard fasteners listed in Table 1 and provide further guidance based on the TCH responses to this CARI.

DESIGN APPROVAL HOLDER'S POSITION (ISSUE 1, DATED DD MMM YYYY):

APPENDIX I – definitions and glossary

Definitions:

Terms	Definitions
Standard Fasteners (which are standard parts)	Fasteners (nuts and bolts) being produced according to a certain standard which is not directly approved by the agency. They fall within the category of standard parts as defined in Commission Regulation (EU) No 748/2012 21.A.303(c)
Type Design Fastener	A fastener for which the type design defines the specification, tolerance, critical characteristic, manufacturing process, quality inspection and/or control of their source, by methods defined by the DAH, is a type design fastener. Any required additional specification or verification of compliance imposed on a standard part fastener results in a type design fastener.
Critical installations	Mechanical and structural assemblies, including fasteners, the failure of which (single or multiple due to common cause) could result in an unsafe condition.

Glossary:

Abbreviation	Meaning
CARI	Continued Airworthiness Review Item
CAW	Continued Airworthiness
DAH	Design Approval Holder
EASA	European Aviation Safety Agency
ICA	Instruction and Information for Continued Airworthiness
MOA	Maintenance Organisation Approval
POA	Production Organisation Approval
SIB	Safety Information Bulletin
TCH	Type Certificate Holder

Annexe 7

Réponse ATR au CARI 20-01 du 30/08/2018



Blagnac, 02 July 2019

To:
Ludovic ARON - Head of Large Aeroplanes Department Certification Directorate
Javier GARCIA NEVADO - Large Aeroplanes Project Certification Manager

Copy:
Christian GUNITZBERGER - EASA ATR Project Certification Manager

Subject: CARI 20-01 - Continued Airworthiness of MS21042, NASM21042 and NAS 1291 standard fasteners (nuts) used in critical installations.

Dear Sirs,

ATR has analysed the CARI 20-01, please find here below the ATR answers related to the 3 Items raised by the CARI.

Item 1: If any of the standard parts listed above are used in critical installations, provide the following information:

- Any reported failure,
- Any corrective actions taken to mitigate the risks,
- If no actions are taken, please explain the rationale supporting the decision to continue to use the parts

ATR answer:

Up today, no failure related to the certified design regarding the fasteners identified by the CARI 20-01 has been reported to ATR.

Item 2: In case where any of the fasteners above are used in critical installations, explain how the instructions for continued airworthiness are adequate to ensure that the airworthiness condition of the aircraft and its parts are maintained, particularly if failures are associated with maintenance errors such as incorrect installation, torque or re-use. This should include ensuring that type design fasteners are only replaced by equivalent type design fasteners (i.e. a standard fasteners is not an eligible replacement part

ATR answer:

ATR Instructions for Continued Airworthiness (ICA) enable to guarantee through our Aircraft Maintenance Manual (AMM) and Structural repair Manual (SRM) that fasteners are adequately installed with adequate torque. The ICA provide the possible interchangeability and provide the re-use rules that have to be followed.

- Installation: Bolts installation instructions are available into ATR SRM chapter 51-25-04. Similar rules are also proposed into the AMM chapter 20.
- Torque: Unless a specific, torque is provided into the AMM Job Instruction Card, all the applicable torque values are available into the SRM chapter 51-25-02 and in the AMM chapter 20.
- Re-use: Nut and screw re-use rules are provided into the SRM chapter 51-25-11.
- Interchangeability: The SRM provides a dedicated chapter 51-40-30 for the nuts and alternatives, which presents global rules and specific tables providing interchangeabilities.

Item 3: Explain Company continued airworthiness procedures and how it protects the fleet, in case of failures of fasteners, including standard parts.

ATR answer:

Current continued airworthiness process (CG-0044) enables to collect / analyze / address all reports, which have a potential airworthiness impact. This procedure enables to meet the requirement of the continued airworthiness regulation described in the PART21, EU 376/2014 and EU 1018/2015.

If an event is reported to ATR on these kind of fasteners, this will initiate the continued airworthiness process. Then, as per process, the event will be collected, dedicated analysis will be done and specific corrective actions could be put in place if necessary.

We hope that these answers fully address the CARI 20-01, please receive our best regards.



Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

10 rue de Paris
Zone Sud - Bâtiment 153
Aéroport du Bourget
93352 Le Bourget Cedex - France
T : +33 1 49 92 72 00 - F : +33 1 49 92 72 03
www.bea.aero