

Bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État

Rapport final d'enquête de sécurité



C-2019-11-I

Date de l'évènement	19 septembre 2019
Lieu	Région Occitanie
Type d'appareil	ATR 42-500 « version 600 »
Organisme	ATR

AVERTISSEMENT

UTILISATION DU RAPPORT

Conformément à l'article L.1621-3 du code des transports, l'unique objectif de l'enquête de sécurité est la prévention des accidents et incidents sans détermination des fautes ou des responsabilités.

L'établissement des causes n'implique pas la détermination d'une responsabilité administrative civile ou pénale.

Dès lors, toute utilisation totale ou partielle du présent rapport à d'autres fins que son but de sécurité est contraire aux engagements internationaux de la France, à l'esprit des lois et des règlements et relève de la seule responsabilité de son utilisateur.

COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'évènement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'identification et l'analyse des causes de l'évènement font l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes retenues.

Le BEA-É formule ses recommandations de sécurité dans le quatrième et dernier chapitre.

Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure légale française.

CRÉDITS

	ATR	Page de garde
Figure 1	ATR, BEA-É	10
Figures 2 et 3	RESEDA, BEA-É	15 et 16
Figures 4 à 8	PWC, BEA-É	17 à 22

TABLE DES MATIÈRES

GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS.....	5
1. Renseignements de base	7
1.1. Déroulement du vol.....	7
1.2. Dommages corporels.....	8
1.3. Dommages à l'aéronef	8
1.4. Autres dommages	8
1.5. Renseignements sur l'équipage.....	8
1.6. Renseignements sur l'aéronef.....	10
1.7. Conditions météorologiques	11
1.8. Aides à la navigation	11
1.9. Télécommunications	11
1.10. Renseignements sur l'aéroport	11
1.11. Enregistreurs de bord.....	11
1.12. Constatations sur l'aéronef	11
1.13. Renseignements médicaux.....	12
1.14. Incendie.....	12
1.15. Organisation des secours	12
1.16. Essais et recherches	12
1.17. Renseignements sur les organismes.....	13
1.18. Renseignements supplémentaires	13
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	14
2. Analyse.....	15
2.1. Expertises techniques.....	15
2.2. Recherche des causes de l'évènement.....	19
3. Conclusion	25
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement	25
3.2. Causes de l'évènement	25
3.3. Gestion de la panne.....	25
4. Recommandations de sécurité	27
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement	27
4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement	27

GLOSSAIRE

AeMC	<i>Aeromedical center</i> , centre d'examen aéromédical
AESA	Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne
ATPL (A)	<i>Airline transport pilot licence – aeroplane</i> , licence de pilote de ligne – avion
CDB	Commandant de bord
CVR	<i>Cockpit voice recorder</i> , enregistreur des conversations du cockpit
DFDR	<i>Digital flight data recorder</i> , enregistreur numérique des données de vol
DGA EP	Direction générale de l'armement - Essais propulseurs
EPNER	École du personnel navigant d'essais et de réception
FI	<i>Flight idle</i> , ralenti vol
ft	<i>Foot</i> , pied. 1 ft \approx 0,3048 m
lb	<i>Pound</i> , livre. 1 lb \approx 0,4536 kg
MCT	<i>Maximum continuous torque</i> , couple maximum continue
MSN	<i>Manufacturer serial number</i> , numéro de série du constructeur
NAS	<i>New avionics suite</i> , suite avionique nouvelle génération
P/N	<i>Part number</i> , numéro de pièce
PRV	<i>Pressure regulating valve</i> , valve de régulation de pression
PSI	<i>Pound per square inch</i> , livre par pouce carré. 1 PSI \approx 0,069 bar
PWC	Pratt & Whitney Canada
PWR MGT	<i>Power management</i> , gestion de la puissance
RESEDA	Restitution des enregistreurs d'accidents

SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 19 septembre 2019 à 10h02

Lieu de l'évènement : 65 kilomètres ouest-sud-ouest de Toulouse

Organisme : ATR

Aéronef : ATR 42-500 « version 600 » MSN 1414, provisoirement immatriculé F-WWLN¹

Nature du vol : 1^{er} vol d'essais de sortie de production²

Nombre de personnes à bord : 3

Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Au cours du premier vol d'essais de sortie de production d'un ATR 42-500 « version 600³ », les alarmes OIL PRESS⁴ des deux moteurs s'allument inopinément. L'équipage déclare une situation de détresse et fait route vers l'aéroport de Toulouse-Blagnac en maintenant une puissance réduite sur les deux moteurs. Il pose l'avion sans utiliser les inverseurs de pas d'hélice (*reverses*).

L'équipage est indemne ; l'avion est intact.

Composition du groupe d'enquête de sécurité

- un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État (BEA-É) ;
- un enquêteur de première information du bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile ;
- un pilote ayant une expertise sur les essais en vol ;
- un ingénieur ayant une expertise sur la certification d'avions de ligne ;
- un ingénieur ayant une expertise sur l'ATR 42 ;
- un médecin breveté supérieur de médecine aéronautique.

Autres experts consultés

- direction générale de l'armement Essais en vol (DGA EV) ;
- direction générale de l'armement Essais propulseurs (DGA EP)/division évaluation des systèmes aéropropulsifs (DESA) ;
- direction générale de l'armement Techniques aéronautiques (DGA TA)/division investigation suite à accident ou incident (MTI) ;
- DGA EP/RESEDA ;
- Pratt & Whitney Canada (PWC).

¹ S'agissant d'un aéronef en essais de réception avant obtention de son certificat de navigabilité (CdN), il se voit délivrer une immatriculation provisoire jusqu'à la fin de ces essais et l'obtention de son CdN.

² Premier vol d'essais pour le MSN 1414.

³ L'ATR 42-500 équipé de la modification *New Avionic Suite* (NAS) est dénommé ATR 42-500 « version 600 », ou ATR 42-600 (cf. § 1.18.1). Cette version de l'ATR 42 est en service depuis novembre 2012.

⁴ Pression d'huile.

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Régime de vol : mixte CAM I et CAG IFR⁵

Type de mission : vol de réception

Dernier point de départ : aéroport de Toulouse-Blagnac (LFBO)

Heure de départ : 9h25

Point d'atterrissage prévu : aéroport de Toulouse-Blagnac (LFBO)

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

Le jeudi 19 septembre 2019, un ATR 42-600 doit décoller à 9h00 de l'aéroport de Toulouse-Blagnac pour son premier vol d'essais en sortie de production. L'équipage est composé d'un pilote d'essais commandant de bord (CDB) en place droite, d'un pilote d'essais en place gauche et d'un expérimentateur navigant d'essais en strapontin (*jump-seat*).

Les pilotes se retrouvent vers 8h30 pour préparer la mission pendant que l'expérimentateur navigant d'essais prend en compte l'avion.

Le CDB retarde de 20 minutes le départ afin que des formalités administratives soient achevées par le bureau des opérations.

1.1.2.2. Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'évènement

L'avion décolle à 9h25 et débute ses essais en montée initiale comme prévu. Les essais se poursuivent avec le contrôle aérien de « Mont-de-Marsan essais ». Le profil d'essai « zéro g⁶ » est exécuté nominalement et les résultats sont satisfaisants : les manettes de puissance étant positionnées au ralenti vol (position FI pour *flight idle*), les alarmes de basse pression carburant restent éteintes tandis que celles de basse pression d'huile ENG OIL PRESS s'allument pour les deux moteurs à 10h02m09s. Les alarmes ENG OIL PRESS s'éteignent lorsque l'accélération subie par l'appareil revient aux environs de 1 g. Ceci est conforme à l'attendu.

1.1.2.3. Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol

À 10h02m39s, pendant que l'équipage se prépare pour l'essai suivant, avec les manettes de puissance positionnées au *notch*⁷ et un facteur de charge aux environs de 1 g, les deux alarmes basse pression d'huile s'allument à nouveau. La situation anormale est confirmée par des indications de pression d'huile inférieures à 40 PSI (seuil d'allumage de l'alarme ENG OIL PRESS). À ce moment-là, l'aéronef évolue aux environs du niveau de vol 150 (FL 150).

Le CDB annonce au téléphone de bord « attention, c'est le moteur gauche » puis « c'est les deux ». Il réduit la puissance des deux moteurs, annonce au contrôleur aérien « retour d'urgence sur Blagnac » et demande au pilote de mettre le cap vers l'aéroport de Toulouse-Blagnac. Le contrôleur aérien demande au CDB le niveau souhaité, et le CDB le questionne à son tour sur le cap à suivre et annonce « *Mayday Mayday* ». Le contrôleur aérien d'essais de Mont-de-Marsan demande alors d'afficher le code d'urgence au transpondeur et les transfère avec le contrôleur aérien d'essais de Toulouse.

Ce contrôleur aérien accuse réception du « *Mayday* », identifie l'avion et le prend en guidage radar. Il donne un cap à l'opposé d'un retour sur l'aéroport de Toulouse-Blagnac. L'erreur est immédiatement détectée et signalée par l'équipage.

Le contrôleur donne donc un nouveau cap puis les conditions météorologiques sur l'aéroport de Toulouse-Blagnac et demande des précisions sur le niveau de vol demandé et la cause du retour d'urgence. En réponse, le CDB évoque un souci sur les deux moteurs et indique qu'il espère atteindre Blagnac en planer.

⁵ CAM I : circulation aérienne militaire aux instruments - CAG IFR : circulation aérienne générale suivant les règles de vol aux instruments.

⁶ Le g, issu de l'initiale du mot gravité, est une unité de mesure d'accélération. Un g correspond approximativement à l'accélération de la pesanteur à la surface de la terre et vaut environ 9,8 m/s². Le « zéro g » correspond à une simulation de l'apesanteur.

⁷ La position *notch* des manettes de puissance permet la conduite des moteurs à partir du sélecteur de gestion de puissance PWR MGT (*power management*) qui comporte quatre positions : décollage (TO), puissance maximum continue (MCT), montée (CLB) et croisière (CRZ).

Le CDB expose à l'équipage sa stratégie consistant à intercepter le *localizer* de l'ILS 32L⁸ et donc à gérer la descente en fonction. Il recommande d'essayer de ne plus utiliser les moteurs. Il annonce ensuite que les moteurs sont bons et est interrompu par le contrôle au moment précis où il s'apprête à apporter une nuance. Le contrôleur aérien est intervenu pour signaler que l'aérodrome de Toulouse-Francazal se situe à 26 Nm de l'avion.

Une discussion est entamée entre le pilote et le CDB sur la stratégie de descente à adopter. Sur proposition du pilote, une arrivée par un plan fort est décidée pour ne pas avoir à utiliser les moteurs. La puissance, réduite dans un premier temps, est désormais ajustée (couples aux environs de 23%) pour maintenir les pressions d'huile aux environs du seuil de l'alarme basse pression. Le CDB rappelle à l'équipage que ce régime correspond à celui à afficher en configuration atterrissage pour tenir un plan d'approche standard de 3°. Durant le retour, les pressions d'huile oscillent entre 39 et 42 PSI.

L'expérimentateur navigant d'essais précise que, dans le cas survenu 17 jours plus tôt sur un moteur d'un ATR 72, de l'air dans le circuit d'huile avait été incriminé et qu'une purge du circuit avait résolu le problème.

Le pilote demande s'il n'y pas un risque d'incendie. Le CDB répond que non.

En finale, la piste 32L étant estimée atteignable en planer, l'équipage fait piquer l'avion vers l'entrée de piste. Dans le même temps, pour gérer l'énergie en accord avec la stratégie préalablement décidée, il affiche la puissance maximale continue (MCT). Dans les 30 secondes qui suivent, les alarmes de basse pression d'huile s'éteignent accompagnées par des indications normales de pression d'huile (> 55 PSI) pour les deux moteurs. Le CDB précise alors que la fonction *reverse* pourra être utilisée à l'atterrissage.

L'équipage pose l'avion et dégage la piste sans utiliser les *reverses* à 10h19. La phase de vol durant laquelle les alarmes étaient allumées a duré environ 10 minutes.

1.1.3. Localisation

- Lieu :
 - pays : France
 - département : Gers
 - coordonnées géographiques : N 43°24' / E 000°37'
 - altitude de l'évènement : environ 15 000 ft
- Moment : jour
- Aérodrome le plus proche au moment de l'évènement : Auch (LFDH)

1.2. Dommages corporels

Les trois membres d'équipage sont indemnes.

1.3. Dommages à l'aéronef

L'avion est intact.

1.4. Autres dommages

Néant.

1.5. Renseignements sur l'équipage

1.5.1. Commandant de bord

- Âge : 47 ans
- Employeur : ATR
- Fonction dans l'unité : pilote d'essais

⁸ L'ILS (*Instrument Landing System*, système d'atterrissage aux instruments) est un système fournissant les écarts de l'avion par rapport à l'axe de piste (*localizer*) d'une part et par rapport à la pente nominale d'approche (*glide path*) d'autre part.

- Formations :
 - qualifications : pilote d'essais expérimental d'avions (2006), instructeur d'essais en vol (2010)
 - école de spécialisation : école du personnel navigant d'essais et de réceptions (EPNER)
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont ATR 42	sur tout type	dont ATR 42	sur tout type	dont ATR 42
Total (h)	5 074	254	120	39	17	2
Dont essais	2 950	253	120	39	17	2

- Date du précédent vol comme pilote d'essais :
 - sur ATR 72 : 18 septembre 2019
 - sur ATR 42 : 30 août 2019
- Licence : ATPL (A) avec qualifications vol d'essais avion catégorie 1⁹, instructeur d'essais en vol (FTI), qualification de type ATR 42/72, instructeur de qualification de type (TRI)

1.5.2. Pilote d'essais

- Âge : 42 ans
- Employeur : ATR
- Fonction dans l'unité : pilote d'essais
- Formations :
 - qualification : pilote d'essais expérimental d'avions (2011)
 - école de spécialisation : EPNER
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont ATR 42	sur tout type	dont ATR 42	sur tout type	dont ATR 42
Total (h)	5 650	2	68	2	20	2
Dont essais	1 450	2	62	2	20	2

- Date du précédent vol comme pilote d'essais :
 - sur ATR 72 : 17 septembre 2019
 - sur ATR 42 : 13 septembre 2019
- Licence : ATPL (A) avec qualification vol d'essais avion catégorie 1

1.5.3. Expérimentateur navigant d'essais

- Âge : 44 ans
- Employeur : ATR
- Fonction dans l'unité : expérimentateur navigant d'essais
- Formations :
 - qualification : expérimentateur navigant d'essais « B » (2005)
 - école de spécialisation : EPNER
- Heures de vol :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont ATR 42	sur tout type	dont ATR 42	sur tout type	dont ATR 42
Total (h)	1 397	54	76	18	16	6
Dont essais	1 299	54	76	18	16	6

⁹ Les essais en vol se divisent en quatre catégories. Un pilote d'essais qualifié catégorie 1 peut effectuer toutes les catégories d'essais.

- Date du précédent vol comme pilote d'essais :
 - sur ATR 72 : 18 septembre 2019
 - sur ATR 42 : 13 septembre 2019
- Licence : expérimentateur navigant d'essais « B »

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : ATR
- Aérodrome de stationnement : Toulouse-Blagnac (LFBO)
- Type d'aéronef : ATR 42-500 *with Mod 5948*

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales
Cellule	ATR 42-500	1414	0
Moteur 1	Pratt & Whitney PW127M	PCE-ED1872	0
Moteur 2	Pratt & Whitney PW127M	PCE-ED1869	0
Hélice 1	Collins Aerospace 568 F1	2019060012	0
Hélice 2	Collins Aerospace 568 F1	2019060013	0

1.6.1. Maintenance

Des essais moteurs ont été réalisés au sol entre le 15 et le 18 septembre 2019. L'autorisation du vol d'essais de sortie de production le 19 septembre a été délivrée la veille par ATR en conformité avec son agrément d'organisme de conception.

1.6.2. Performances

Durant le vol, l'avion reste dans l'enveloppe de vol de la certification CS-25 relative aux avions de grande capacité.

1.6.3. Masse et centrage

Au décollage, la masse de l'avion est de 14 700 kilogrammes et le centrage est à 25% (avant). Durant tout le vol, la masse et le centrage restent dans les normes.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : carburéacteur Jet A-1
- Quantité de carburant au décollage : 5 540 lb
- Quantité de carburant au moment de l'évènement : 5 000 lb

1.6.5. Huile moteur

Les moteurs PW127M requièrent une huile répondant aux spécificités PWA 521 type II.

À la demande du client, l'huile utilisée est de l'EXXON Turbo Oil 2380 qui répond à ces spécificités.

Les deux moteurs ont été mis en service avec une quantité de 22 boîtes d'EXXON Turbo Oil 2380 d'une contenance de 946 ml. Ceci amène à un niveau d'huile entre les repères 1 et 2 (cf. figure 1) qui a été constaté avant le vol et après le vol.

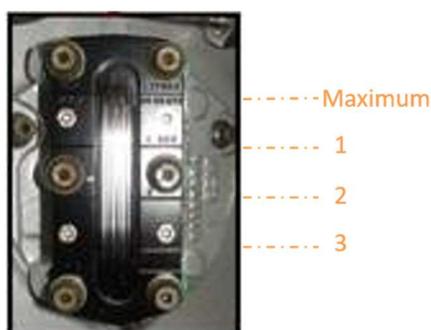


Figure 1 : vue des niveaux d'huile du moteur PW127M

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Les prévisions météorologiques prises en compte par l'équipage pour préparer la mission sont les suivantes. En zone d'essais, il n'est pas prévu de couverture nuageuse et l'isotherme 0° est estimée au FL120.

Sur l'aéroport de Toulouse-Blagnac, il est prévu pour la matinée un vent du 280° pour six nœuds¹⁰, une visibilité supérieure à 10 kilomètres, des couches nuageuses éparses à 2 500 pieds (ft) et temporairement morcelées à 1 000 ft, devant se dissiper entre 13h et 15h.

Sur l'aéroport de Tarbes, il est prévu pour la matinée un vent du 290° pour six nœuds, une visibilité supérieure à 10 kilomètres, des couches nuageuses morcelées à 18 500 ft et temporairement morcelées à 700 ft.

Sur l'aéroport de Mont-de-Marsan, il est prévu pour la matinée un vent du 240° pour cinq nœuds, une visibilité de six kilomètres, et une couche nuageuse morcelée à 700 ft.

1.7.2. Observations

Durant le vol, l'équipage constate une couverture nuageuse de basse couche d'environ 2 000 ft d'épaisseur et dont la base est à 1 300 ft sur l'aéroport de Toulouse-Blagnac.

1.8. Aides à la navigation

L'ATR 42-600 est équipé, entre autres, d'un système de positionnement par satellites (*Global Navigation Satellite System*, GNSS), qui indique la route à suivre et qui est couplé au pilote automatique.

1.9. Télécommunications

Au moment de l'incident, l'équipage est en liaison radio avec un contrôleur de « Mont-de-Marsan essais » sur une fréquence VHF. Pour le retour sur Toulouse-Blagnac, des transferts sont successivement effectués avec un contrôleur du centre de contrôle essais réception (CCER) de Toulouse puis un contrôleur de la tour de l'aéroport.

1.10. Renseignements sur l'aéroport

L'aéroport de Toulouse-Blagnac dispose de deux pistes bitumées dont la plus courte offre une distance d'atterrissage de 3 025 mètres.

Le matin de l'incident, les pistes 32L et 32R sont en service.

1.11. Enregistreurs de bord

L'avion est équipé d'un enregistreur numérique des données de vol (*Digital Flight Data Recorder*, DFDR) FA2100, d'un enregistreur des conversations du cockpit (*Cockpit Voice Recorder*, CVR) FA2100 et d'un enregistreur de maintenance (*Quick Access Recorder*, QAR).

1.12. Constatations sur l'aéronef

L'inspection visuelle de l'aéronef ne révèle aucune anomalie.

¹⁰ La vitesse d'un nœud correspond à un mile nautique par heure. Un nœud (*knot*, kt) vaut 1,852 km/h.

1.13. Renseignements médicaux

1.13.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical¹¹ :
 - type : visite auprès d'un examinateur aéromédical (AME) le 16 septembre 2019
 - résultat : apte classe 1
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : néant

1.13.2. Pilote d'essais

- Dernier examen médical :
 - type : visite auprès d'un centre d'expertise médical du personnel navigant (AeMC) le 18 juin 2019
 - résultat : apte classe 1
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : néant

1.13.3. Expérimentateur navigant d'essais

- Dernier examen médical :
 - type : visite auprès d'un AeMC le 18 juin 2019
 - résultat : apte classe 1
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : néant

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Organisation des secours

Lors du transfert avec Toulouse essais, le CDB réitère sa situation de détresse, précise que l'aéronef est en vol plané, requiert les secours à l'arrivée et demande que le bureau des opérations d'ATR soient informés.

Moins de trois minutes plus tard, sur activation de l'alerte par le chef de la tour de contrôle de Toulouse-Blagnac, l'ensemble des véhicules incendie du service de sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs (SSLIA) est déployé sur les emplacements prédéterminés, et les aéronefs au départ ou à l'arrivée sont mis en attente. Le nombre de personnes à bord et la quantité restante de carburant sont transmis aux secours. Après le poser, l'équipe de secours constate que l'ATR 42 dégage la piste par ses propres moyens. Ils le suivent jusqu'au parking et attendent l'extinction des moteurs. L'équipage évacue par ses propres moyens.

1.16. Essais et recherches

L'extraction des données du DFDR et du CVR est confiée à RESEDA. Les données sont exploitables.

L'analyse des prélèvements d'huile du moteur 2 et l'expertise de la valve de régulation de la pression d'huile (*Pressure Regulating Valve*, PRV) du moteur 2 sont confiées à DGA EP/DESA.

Le moteur 2 (ED1869) de l'ATR 42 MSN1414 est déposé et expédié à PWC pour expertise.

¹¹ Selon l'arrêté du 29 août 2014 modifié, relatif à l'aptitude physique et mentale du personnel navigant professionnel de l'aéronautique civile (personnels d'essais et de réceptions).

1.17. Renseignements sur les organismes

1.17.1. ATR

ATR, acronyme de avions de transport régional, est un fabricant d'avions régionaux à turbopropulseurs installé à Toulouse (France). Créé en novembre 1981, ATR est le fruit de l'alliance de deux acteurs aéronautiques européens majeurs : Airbus et Leonardo.

ATR a vendu près de 1 700 avions auprès de 200 compagnies réparties sur plus de 100 pays. Il est un acteur majeur du transport régional dans le monde.

1.17.2. Pratt & Whitney

Pratt & Whitney est un fabricant de moteurs d'aviation installé à Montréal (Canada). Ses moteurs turbopropulseurs équipent des avions de transport régionaux, de surveillance maritime, de lutte contre l'incendie ou de transport militaire.

1.18. Renseignements supplémentaires

1.18.1. ATR 42-600

ATR 42-600 est la désignation commerciale de l'ATR 42-500 équipé de la modification *New Avionic Suite* (NAS), également appelée « *Glass Cockpit* ». La documentation approuvée utilise les dénominations suivantes : ATR 42-500 *with Mod 5948*, ATR 42-500 *fitted with NAS* ou ATR 42-500 « *600 version* ». L'avion ATR 42-500 « version 600 » n'est pas considéré comme un nouveau modèle d'avion ni comme une nouvelle variante. La certification initiale des ATR a été accordée par la Direction générale de l'Aviation civile française (DGAC) sous le certificat de type DGAC N° 176 puis a été transférée à l'agence européenne de la sécurité aérienne (AESA) à compter du 28 septembre 2003 sous le certificat de type EASA A.084. Le certificat de type de l'ATR 42-500 a été délivré le 28 juillet 1995 ; celui de l'ATR 42-500 « version 600 » a été délivré le 14 juin 2012.

Le moteur PW127M est l'un des trois types de moteur certifiés pour l'ATR 42-500. Il lui confère la certification ETOPS 120 minutes¹².

1.18.2. Moteur PW127M

Le moteur PW127M relève de la série des moteurs PW100, fabriquée par Pratt & Whitney Canada. Les turbopropulseurs de cette série comprennent une turbomachine à trois corps (dont une turbine libre) et un réducteur hélice. Pour tous les modèles, le contrôle du moteur se fait via une unité de commande électronique du moteur (*Electronic Engine Control* (EEC)) à un canal de commande, avec une assistance hydromécanique.

Le certificat de type du PW127M a été délivré par l'AESA le 20 décembre 2007.

Le moteur PW127M est monté exclusivement sur ATR 42 et ATR 72 et à partir des versions commerciales « 500 ».

1.18.3. Essais « g négatifs »

Les exigences actuelles de certification CS25 prévoient qu'aucun dysfonctionnement dangereux d'un moteur ou d'un composant ou système associé au moteur ne doit se produire lorsque l'avion subit des facteurs de charge négatifs dans l'enveloppe de vol de certification.

Il est prévu que la démonstration de la conformité à cette exigence soit faite par des analyses et/ou des essais au sol, et soit étayée par des essais en vol.

En particulier, lors des essais en vol, l'avion devrait être soumis à :

- une période continue d'au moins cinq secondes à moins de zéro g et, séparément ;
- une période contenant au moins deux excursions à moins de zéro g en succession rapide, dans laquelle le temps total à moins de zéro g est d'au moins cinq secondes.

¹² La norme *Extended-range Twin-engine Operation Performance Standards* (ETOPS) permet aux avions commerciaux équipés de deux moteurs d'utiliser des routes aériennes comportant des secteurs à plus d'une heure de vol d'un aéroport de secours. L'éloignement autorisé, exprimé en minutes (90, 120 ou 180), est mentionné sur le certificat.

1.18.4. Manœuvre « zéro g » de sortie de production

Sans lien avec les essais « g négatifs » réalisés en certification, la procédure d'essais des ATR en sortie de production prévoit une manœuvre de « montagnes russes » pour appliquer durant 2 à 3 secondes une légère accélération négative. Cette manœuvre est utilisée comme moyen de vérification du bon fonctionnement des systèmes.

Durant la manœuvre, il est attendu que les pressions d'huile moteur chutent au point d'allumer les alarmes de faible pression. En revanche, l'alimentation en carburant doit rester suffisante, ce qui se vérifie au moyen des alarmes faible pression carburant qui doivent rester éteintes. À l'issue de la manœuvre, la pression d'huile est sensée revenir à la normale en moins de cinq secondes.

La division des essais d'ATR a pris l'habitude de parler de la manœuvre « zéro g » associée à cette trajectoire.

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

L'adaptation d'un banc d'essais a été nécessaire pour reproduire, sur banc, l'accumulation de l'huile dans le réducteur hélice. En vol, une manœuvre d'investigation sur un avion spécifique a été menée pour reproduire le phénomène.

2. ANALYSE

2.1. Expertises techniques

2.1.1. Analyse des données de vol du MSN1414

Au cours de la manœuvre « zéro g », la gravité reste positive et supérieure à 0,06 g. Les assiettes pilotées pour obtenir cette microgravité vont de 35° à cabrer à 25° à piquer.

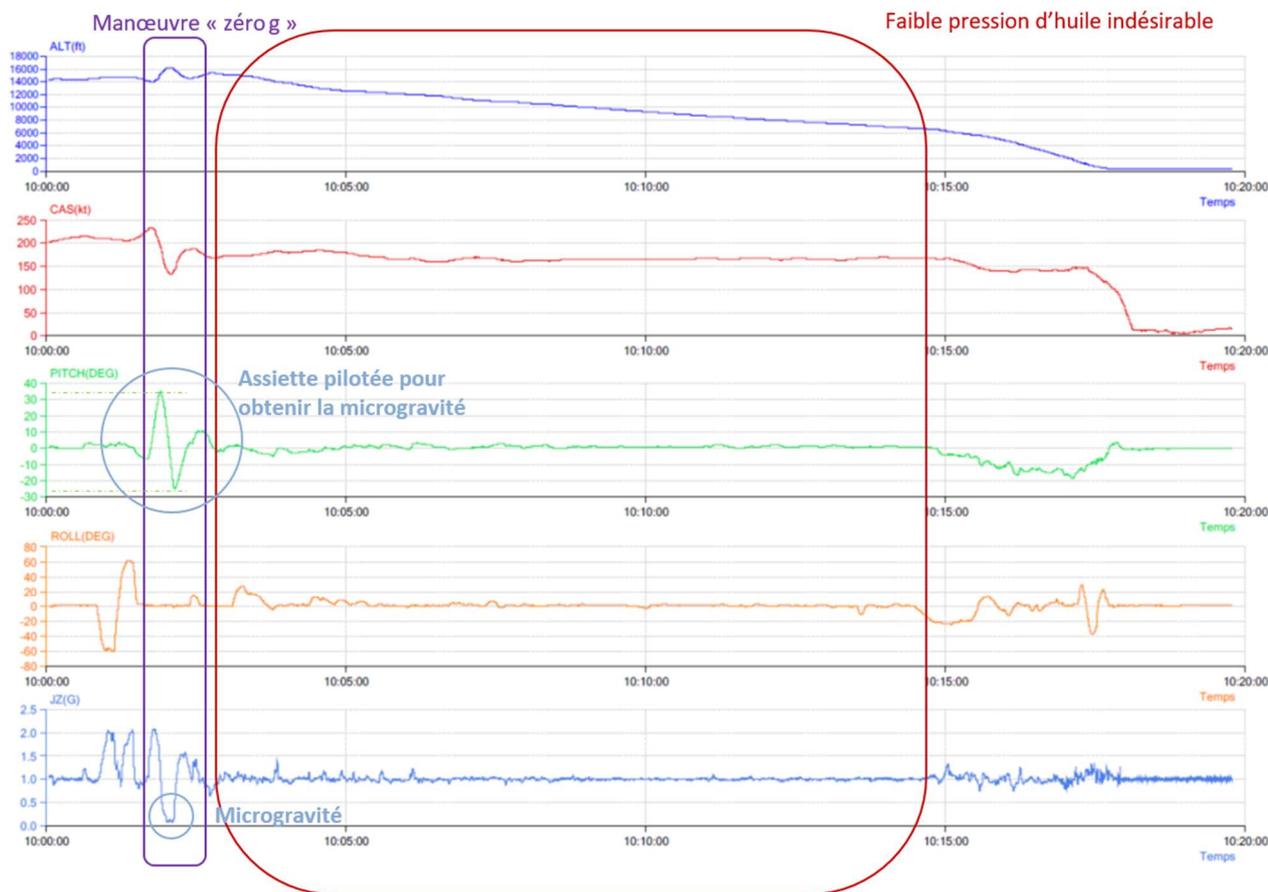


Figure 2 : attitudes de l'avion pendant l'incident

Au cours de la manœuvre « zéro g », la pression d'huile des moteurs 1 et 2 chute en dessous de 40 PSI et déclenche les alarmes ENG 1 OIL PRESS, ENG 2 OIL PRESS et MASTER WARNING. Ceci est conforme à l'attendu. À l'issue de la manœuvre, les pressions d'huile remontent puis rechutent de manière inattendue en dessous de 40 PSI, déclenchant les alarmes associées et signifiant alors un problème de lubrification du moteur.

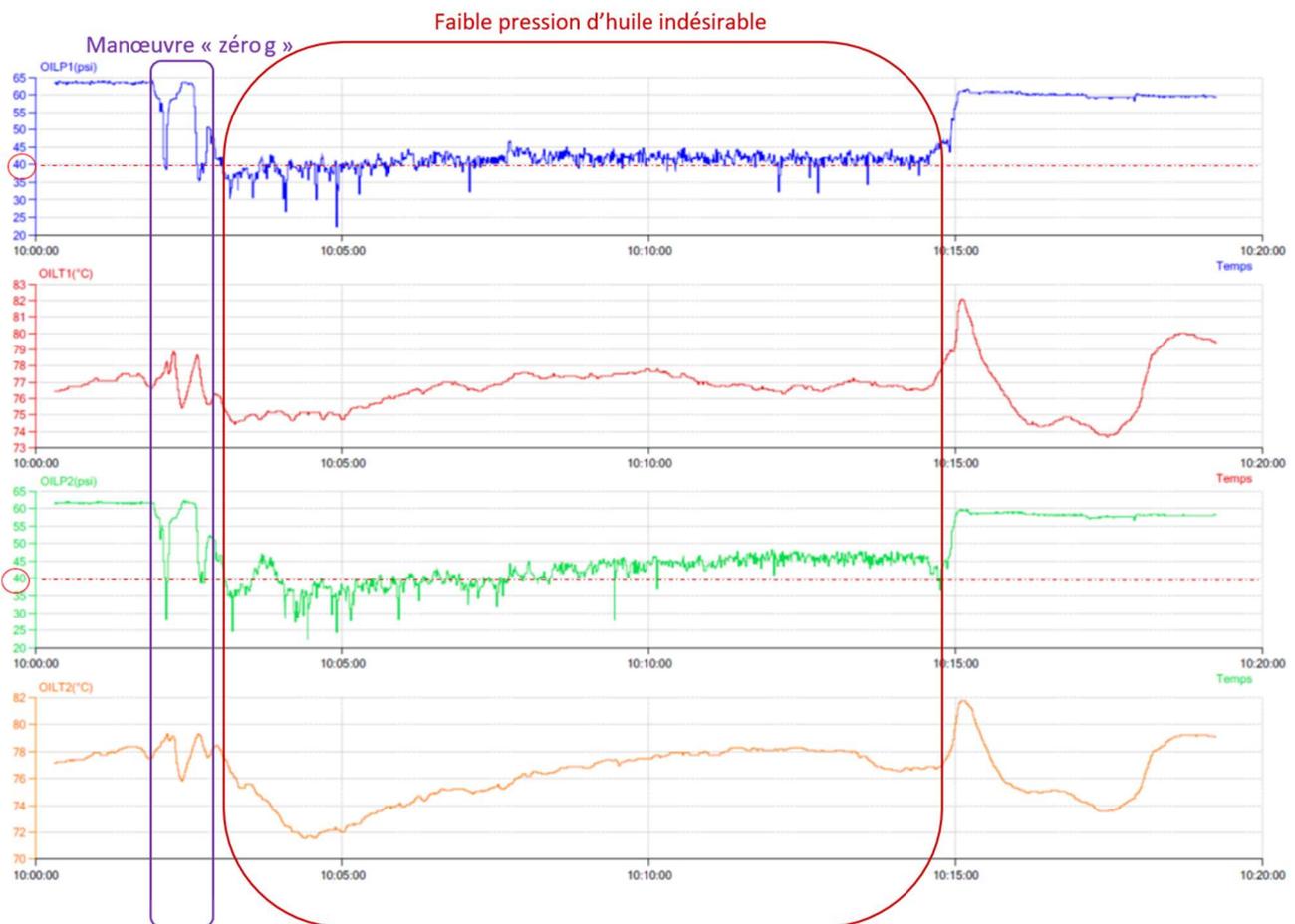


Figure 3 : informations relatives aux huiles moteur pendant l'incident

Durant la manœuvre « zéro g », la gravité est restée positive. Les assiettes associées à cette manœuvre ont varié entre +35° et -25°. Après la manœuvre, la pression d'huile chute et reste à un niveau anormalement bas pendant environ 12 minutes.

2.1.2. Expertise de l'huile moteur

L'analyse des prélèvements d'huile montre que l'huile en usage sur les moteurs de l'ATR 42 MSN1414 est bien de type « Turbo Oil 2380 ». Aucune pollution organique ou métallique (par usure de pièces du circuit d'huile) n'a été mise en évidence.

La qualité de l'huile moteur en usage sur le MSN1414 est conforme à l'attendu.

2.1.3. Expertise de la valve de régulation de la pression d'huile moteur

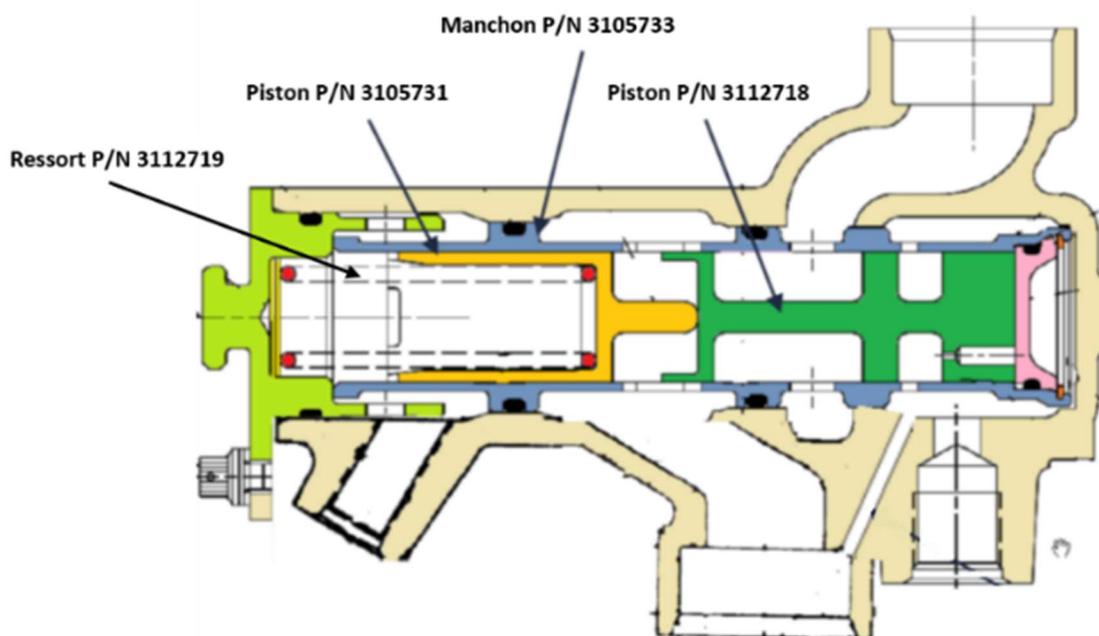


Figure 4 : schéma de la valve de régulation

Les deux pistons et le ressort constituant les pièces mobiles de la PRV ont été expertisés.

Le ressort présente des traces de frottement des spires contre son guide (piston P/N 3105731) et de légers dépôts métalliques aux extrémités. La raideur du ressort est conforme aux spécifications.

Le piston P/N 3105731 présente des traces noires dans son conduit. Ces traces sont sans lien avec l'incident. La géométrie de la forme cylindrique est conforme aux spécifications.

Le piston P/N 3112718 présente des traces de dépôt de matière. La géométrie de la forme cylindrique est conforme aux spécifications. Le trou axial n'est pas obstrué.

L'état de la PRV est conforme à l'attendu.

2.1.4. Vols d'investigations

Dans le cadre de la recherche des causes de l'incident, des investigations en vol ont été réalisées afin d'étudier la circulation de l'huile dans le circuit et d'analyser la manœuvre « zéro g ».

2.1.4.1. Etude du flux de l'huile dans le circuit

Pour réaliser des essais en vol, ATR dispose d'un ATR 42 dédié, le MSN811, équipé des moteurs ED0145 et ED0171, qui a été utilisé pour les investigations.

Dans un premier temps, le moteur 2 (ED1869) de l'ATR 42 MSN1414 déposé est remplacé par le moteur ED0145 de l'avion d'essais. Quatre premiers vols d'investigation sont menés dans cette configuration. À l'issue de ces vols d'investigation, le moteur 1 du MSN1414 (ED1872) est transféré sur le MSN811 pour la poursuite des investigations. L'instrumentation d'essais du MSN811 est complétée par des capteurs supplémentaires de température et de pression afin de déterminer où va l'huile qui est sensée revenir à la bache. Par ailleurs, la PRV est testée. Le fonctionnement de la PRV est conforme à l'attendu.

Ces mesures permettent de détecter une accumulation d'huile anormale dans le réducteur hélice.

La diminution intempestive et non récupérée de la pression d'huile moteur à l'issue de la manœuvre « zéro g » est liée à une accumulation de l'huile dans le réducteur hélice.

2.1.4.2. Analyse des manœuvres « zéro g »

Une analyse de données enregistrées au cours des vols d'essais de sortie de production jusqu'au jour de l'incident met en évidence une importante disparité des variations d'assiette exercées par les pilotes au cours de la manœuvres « zéro g ».

Postérieurement à l'incident, 115 manœuvres « zéro g » réparties sur treize vols d'essais sont réalisées avec plusieurs techniques sur le MSN1414 puis le MSN811 équipés du moteur ED1872. Les 65 manœuvres des six premiers vols d'essais ont permis de reproduire cinq fois le phénomène de chute intempestive de pression d'huile en dessous de 40 PSI et d'aboutir à une manœuvre standardisée, permettant de mettre en évidence le phénomène, pour l'investigation. Les critères de cette manœuvre dite de référence pour l'investigation portent sur un temps minimum de 16 secondes entre l'assiette à cabrer maximale et celle à piquer maximale ainsi qu'une microgravité cible comprise entre 0 et 0,2 g. Cette manœuvre permet de reproduire de manière quasi systématique le phénomène prolongé de faible pression d'huile.

Au bilan, il apparaît qu'une variation minimum d'assiette entre le cabrer et le piquer est nécessaire à l'accumulation d'huile dans le réducteur. Cette condition est nécessaire mais pas suffisante pour déclencher le phénomène de chute intempestive et prolongée de la pression d'huile moteur. Le jour de l'incident, la pression d'huile revient à sa valeur nominale consécutivement au passage du power management sur MCT, sans lien établi par l'investigation. Quand le phénomène est installé au cours des vols d'investigation, le passage de l'hélice en drapeau permet systématiquement de faire revenir la pression d'huile à sa valeur nominale. Les moteurs du MSN811, de conception plus ancienne que ceux du MSN1414, ne déclenchent pas le phénomène.

Le phénomène entretenu de faible pression d'huile moteur n'apparaît que lorsque la phase de microgravité dure environ 15 secondes, et que les assiettes appliquées dépassent 35° à cabrer et 25° à piquer. Il a été identifié que le phénomène s'interrompt quand l'hélice est mise en drapeau.

Lors des vols d'investigation, seuls les moteurs de configuration postérieure à 2018 ont été sensibles au phénomène.

2.1.4.3. Investigations sur banc

Le moteur 2 (ED1869) de l'ATR 42 MSN1414 et le moteur 1 (ED0145) du MSN811 ont été déposés et expédiés à PWC pour expertise. Un banc d'essais a été modifié pour reproduire l'effet de l'accumulation d'huile dans le réducteur et de la récupération de la pression d'huile des moteurs PW127M.

Les investigations sur banc ont confirmé une plus forte sensibilité des réducteurs usinés selon le processus de 2018 au phénomène de rétention d'huile.

2.2. Recherche des causes de l'évènement

2.2.1. Domaine technique

2.2.1.1. Circuit de lubrification du moteur et du régulateur hélice

L'huile qui circule dans le moteur pour la lubrification est également utilisée par le régulateur hélice. Ainsi, une baisse de pression d'huile dans le moteur peut induire, à plus ou moins brève échéance, une difficulté de maintenir le pas de l'hélice dans la position désirée. Par la suite, si la pression d'huile diminuait encore, l'équipage serait contraint de couper le ou les moteurs.

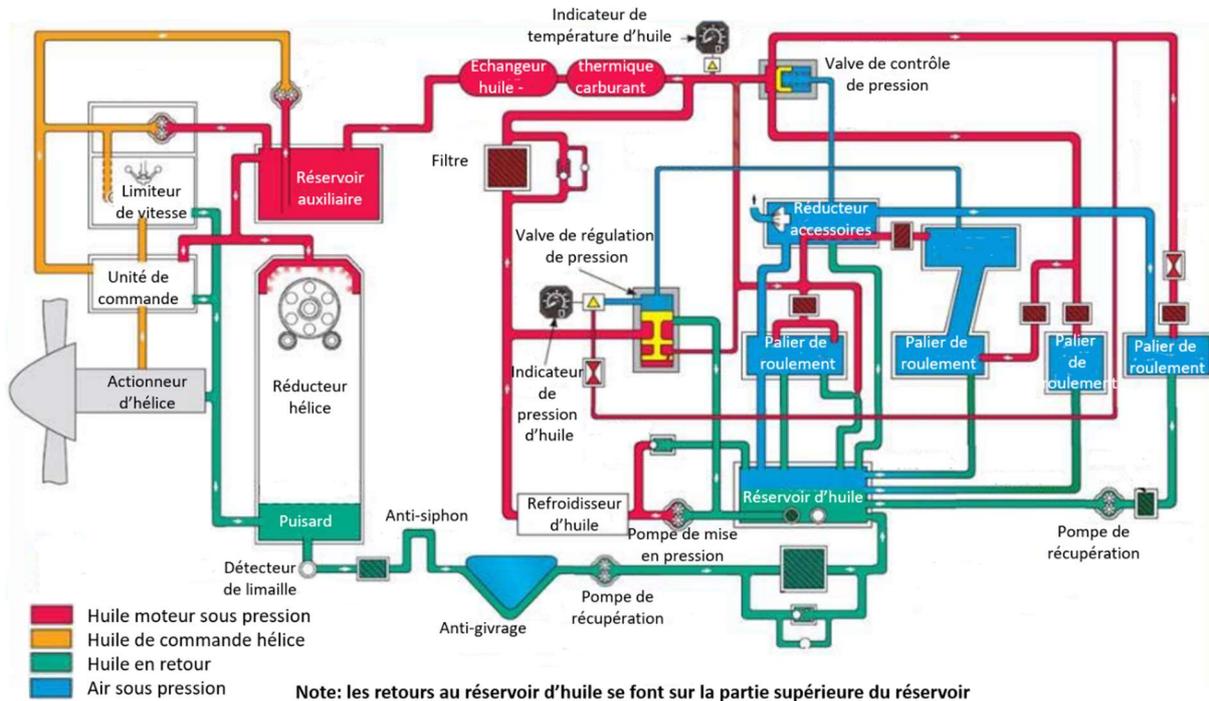


Figure 5 : schéma de principe du circuit d'huile du moteur PW127M

L'alarme de faible pression d'huile moteur peut avoir des conséquences sur le fonctionnement du moteur et nécessiter son arrêt.

2.2.1.2. Caractérisation du phénomène de rétention d'huile

2.2.1.2.1. Revue de modifications

Dans le passé, des cas de chute de pression d'huile dans la zone rouge (en dessous de 40 PSI) et atteignant jusqu'à la valeur nulle se sont produits sur des moteurs PW127M. Pour corriger ces évènements imputés à un espace trop faible entre les engrenages du premier étage du réducteur hélice et son boîtier, PWC a implémenté à compter de 2009 une vérification systématique du bon espacement entre les engrenages et le boîtier. En 2018, une phase d'usinage du boîtier du réducteur a été introduite avec une modification dans la définition de l'écart entre les engrenages et le boîtier. Ce nouveau procédé a eu pour effet d'augmenter l'espace nécessaire à la circulation de l'huile entre les engrenages et le boîtier. Appliquée à compter du numéro de série ED1715, cette conception concerne, au jour de l'évènement, 159 moteurs et 28 avions en service.

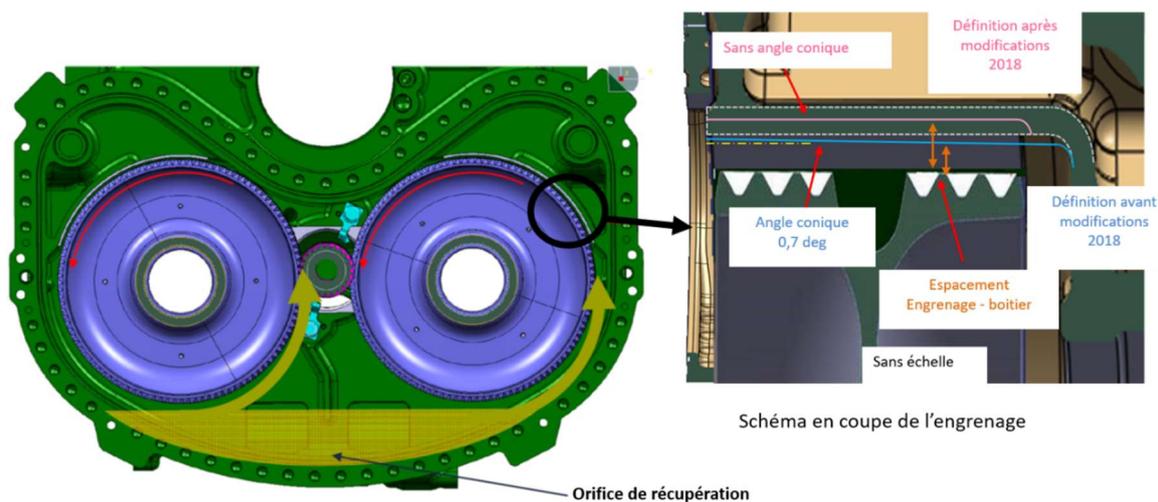


Figure 6 : schéma du réducteur hélice

Une phase d'usinage et un changement de l'écart entre les engrenages et le boîtier des réducteurs des moteurs PW127M sont intervenus en 2018, à compter du moteur numéro ED1715. Les deux moteurs de l'incident sont concernés.

2.2.1.2.2. Modélisation mathématique

Une modélisation de première approximation par mécanique des fluides numérique (MFN) montre l'influence de la forme de l'espace et de la diminution de l'écart entre les engrenages du premier étage et le boîtier du réducteur sur la circulation de l'huile. Au-delà d'une certaine valeur, cet espace provoque une perte d'énergie dans le système de circulation d'huile.

Le modèle, illustré par le schéma ci-dessous, montre qu'il existe un espace optimum pour lequel les pertes d'énergie sont minimales, vers 0,05 pouces. Puis, lorsque l'espace augmente, la perte d'énergie s'accroît. Ce phénomène est en lien avec l'augmentation de la viscosité de l'huile lorsqu'elle se mélange avec de l'air. Ces résultats sont en accord avec l'état des connaissances trouvées dans la littérature sur le barattage, phénomène de brassage d'un fluide pouvant conduire à son accumulation dans une zone.

Cette modélisation de première approximation apporte des tendances qualitatives non quantifiables.

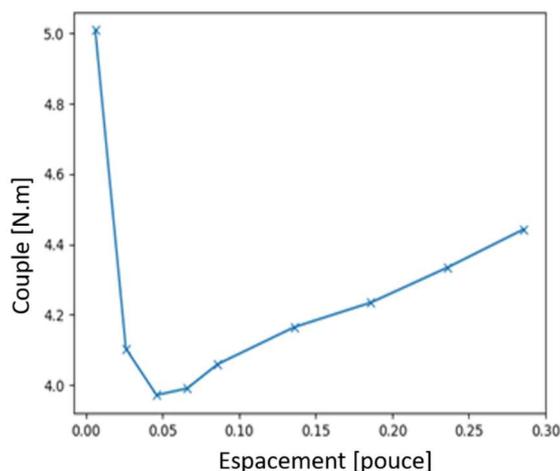


Figure 7 : effet de l'espace entre l'engrenage et son boîtier

Des modèles mathématiques montrent que l'espace entre l'engrenage et son boîtier peut amener à un effet de rétention et à un brassage de l'huile dans le réducteur, de nature à en modifier les caractéristiques de l'huile.

2.2.1.3. Effets de la modification d'écart dans le régulateur hélice

Une accumulation de l'huile, favorisée par les modifications de production apportées depuis 2018 aux réducteurs hélice, est à l'origine de la baisse intempestive de pression d'huile des moteurs PW127M à l'issue de manœuvres « zéro g ».

La chute intempestive et prolongée de la pression d'huile des deux moteurs est due à l'accumulation de l'huile dans le réducteur hélice. Les modifications de production apportées depuis 2018 aux réducteurs, en sont une cause technique nécessaire mais non suffisante. Une microgravité prolongée est également nécessaire pour déclencher le phénomène.

2.2.1.4. Changement de définition des réducteurs

En 2018, le processus de fabrication des réducteurs a fait l'objet de modifications qui ont été jugées mineures par PWC. Demeurant dans les tolérances existantes du dessin, elles ont ainsi été classées en catégorie 2. La nouvelle définition est toutefois contributive au phénomène de rétention d'huile amorcé par la manœuvre « zéro g ».

L'évaluation par PWC des conséquences des modifications apportées en 2018 à la production des réducteurs a été peu approfondie.

2.2.2. Domaine relevant des facteurs organisationnels et humains

2.2.2.1. Vol de sortie de production

Le vol d'essais en sortie de production est le premier vol de l'avion MSN1414. Il est classé en catégorie 2. L'ordre d'essais de sortie de production est standardisé par la partie vérification en vol du manuel d'acceptation. Sans lien avec les essais « g négatifs » réalisés en certification, ce vol comporte une phase dite de « g négatif », la manœuvre « zéro g » (cf. 1. 18), pour vérifier le fonctionnement des alarmes et des capteurs associés. S'il est attendu que les alarmes de faible pression d'huile s'allument durant la manœuvre, la pression d'huile est sensée revenir à la normale en moins de cinq secondes à l'issue.

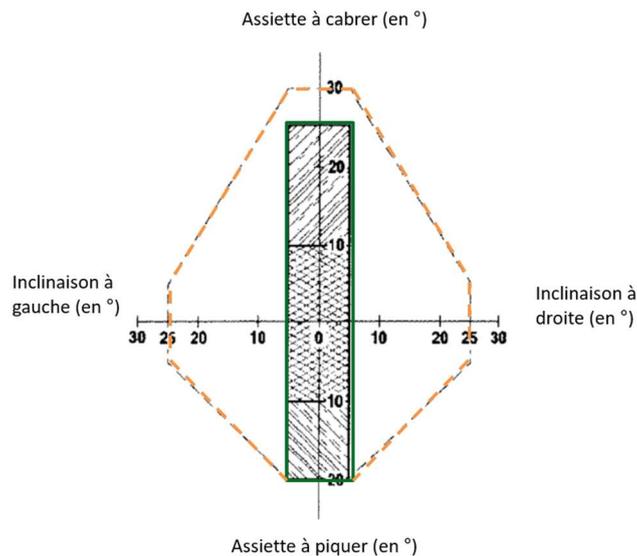
En pratique, ces essais ne sont pas réalisés en « g négatifs » mais en microgravité entretenue par l'adoption d'une trajectoire parabolique. Toutefois, cette manœuvre est suffisante pour vérifier le fonctionnement des alarmes et des capteurs associés.

Les vols d'essais de sortie de production ont pour but de tester le bon fonctionnement de l'aéronef. La manœuvre d'essais référencée par ATR comme « montagnes russes » et usuellement dénommée « zéro g » est en réalité une manœuvre de microgravité entretenue. Cette manœuvre permet d'atteindre les mêmes objectifs d'essais qu'avec un facteur g nul ou négatif. La manœuvre réalisée est conforme à l'attendu.

2.2.2.2. Pratique de la manœuvre « zéro g »

Une disparité des variations d'assiette exercées par les pilotes d'essais au cours de la manœuvre « zéro g » a été mise en évidence. Ces différences s'expliquent par la nécessité pour les équipages de s'adapter lors de chaque vol aux conditions du jour pour réunir les conditions favorables à la réussite de la manœuvre.

La manœuvre de référence pour l'investigation, dont le but est de maximiser la probabilité de déclenchement d'une rétention d'huile dans le réducteur, consiste à viser un temps minimum de 16 secondes entre l'assiette à cabrer maximale et celle à piquer maximale ainsi qu'une microgravité de 0,2 g. Le phénomène de rétention d'huile n'est apparu que lorsque les assiettes prises durant la manœuvre dépassent 35° à cabrer et 25° à piquer.



Note:

le moteur est capable de fonctionner normalement en régime permanent aux attitudes dans la zone ombragée

le moteur est capable d'effectuer des opérations transitoires de routine d'une durée n'excédant pas 30 s

à des attitudes dans la zone en pointillés

le fonctionnement à des assiettes en dehors de la zone pointillée de la chaîne ou à g négatif ne doit pas dépasser 5 s

Figure 8 : limitations d'attitude du moteur PW127M

Bien qu'étant aux limites opérationnelles transitoires du manuel d'installation du moteur, les assiettes atteintes en manœuvre « zéro g » sont tolérées par le constructeur du moteur.

Les vols d'investigation ont permis de démontrer que l'application de ces assiettes importantes de cabrer et de piquer est une condition nécessaire sans être suffisante pour déclencher le phénomène de rétention d'huile dans le réducteur hélice. Les fluctuations de mise en pratique de la manœuvre par les pilotes peuvent expliquer que le phénomène ne se produise pas systématiquement à chaque vol.

Les équipages sont parfois dans l'obligation d'atteindre des valeurs importantes de cabrer et de piquer (+35°, -25°) pour se mettre dans la configuration permettant de tester les systèmes. Ces conditions sont favorables au phénomène de rétention d'huile, lié à la microgravité.

2.2.3. Éléments de sécurité sans lien direct avec l'évènement

2.2.3.1. Préparation de l'équipage à l'incident

Le CDB a connu une première occurrence d'alarme faible pression d'huile moteur, survenue 17 jours auparavant sur un moteur d'un ATR 72 en vol d'essais de sortie de production. S'il est conscient qu'un tel phénomène peut se reproduire, il reste néanmoins surpris par sa survenue le 19 septembre, en raison de la confiance qu'il accorde dans les procédures d'acceptation réalisées en amont, par des essais au sol. La surprise est d'autant plus grande que le phénomène se produit simultanément sur les deux moteurs.

Jusqu'à cette date, l'éventualité d'une double panne moteur lors d'un vol de sortie de production n'est pas envisagée. Plus généralement, la division essais d'ATR estime qu'aucun incident grave ne devrait se produire durant ce type d'essais.

La cause de l'alarme basse pression d'huile sur un moteur de l'ATR 72 avait été imputée à la présence d'air dans le circuit d'huile. En fait, ce symptôme n'était pas la cause racine mais la conséquence du brassage de l'air et de l'huile lors de la rétention de l'huile dans le réducteur. La possibilité que le phénomène se produise simultanément sur les deux moteurs n'a pas été envisagée.

Il est à noter que le risque perçu par une personne dans une situation donnée varie en fonction de son expérience antérieure et également de la fréquence à laquelle cette personne a été exposée à cette situation.

Plus un individu est exposé à une situation dangereuse sans qu'un incident ne se produise, plus sa perception du risque sera faible.

Les résultats majoritairement satisfaisants des essais en sortie de production sont à l'origine d'un biais d'évaluation de la fréquence des événements. Si la panne d'un des deux moteurs peut apparaître comme banale, celle des deux moteurs simultanément n'est pas envisagée.

2.2.3.2. Réaction de l'équipage face à une panne inattendue

En cas d'alarme ENG OIL PRESS, la procédure prescrite pour une faible pression d'huile moteur prévoit de passer le moteur incriminé en drapeau puis d'opérer en monomoteur. Cette procédure n'est pas applicable aux deux moteurs simultanément, ce qui conduirait à supprimer toute motorisation. Dans ces conditions, l'avion perdrait également de nombreuses servitudes, notamment électriques.

Lors de l'apparition des alarmes, l'équipage redoute l'extinction des deux moteurs voire un début d'incendie. Dans le cas d'extinction des deux moteurs, l'absence de servitude électrique rendrait une approche aux instruments impossible et la météorologie au sol ne permet pas d'envisager une approche à vue sur un aérodrome de secours.

Face à cette situation inattendue, le niveau de stress augmente au sein de l'équipage. Dans les premiers instants après la panne, chaque pilote tend à s'isoler, le temps d'analyser la situation et de trouver une solution.

Faisant face à une situation inattendue et en l'absence de solution immédiatement disponible, l'équipage a subi un niveau de stress certain dans les premiers instants après l'apparition des alarmes.

2.2.3.3. Communications

2.2.3.3.1. Communications intra-équipage

Le CDB annonce un problème moteur au reste de l'équipage sans expliciter clairement la nature de la panne. Il n'a pas partagé de bilan technique sur les systèmes disponibles et indisponibles jusqu'à l'atterrissage. En effet, il a déjà rencontré le même type de problème, sur un seul moteur, lors d'un vol précédent. L'annonce précise des paramètres ne lui semble donc pas indispensable.

L'équipage étant surpris par la soudaineté de la panne et une situation improbable, la communication interne a, dans un premier temps, été perturbée et imprécise. Dans cette situation, rien ne garantit que les membres d'équipage partagent la même représentation des conditions d'utilisation des moteurs (puissance applicable et durée d'application de cette puissance). Les premiers échanges sur le projet d'action montrent une divergence de compréhension de la situation.

Sous l'effet de la surprise, la communication intra-équipage a, dans un premier temps, été pauvre. Ainsi, l'élaboration d'un projet d'actions partagé par l'équipage a été légèrement différé.

2.2.3.3.2. Synergie équipage

L'équipage est constitué de deux pilotes d'essais expérimental et d'un expérimentateur navigant d'essais.

Le CDB est très expérimenté en essais en vol, ATR 42 inclus.

Le pilote d'essais en fonction a peu d'expérience sur ATR 42 et s'appuie sur une forte expérience de vol sur avion à turbo propulseurs. L'expérimentateur navigant d'essais est expérimenté sur ATR 42.

La culture des essais en vol et la formation des pilotes induit une habitude de réaction rapide, pouvant prendre le pas sur les échanges intra-équipage. Combiné aux effets du stress lié à l'apparition d'une panne inattendue, la synergie de l'équipage se détériore et le cockpit apparaît dans un premier temps un peu égocentré.

Cependant, en s'appuyant sur une riche expérience, l'équipage élabore rapidement une stratégie.

Après quelques minutes de réflexions et d'analyse, il décide de sécuriser la trajectoire en gardant un peu de puissance moteur pour rejoindre un plan de descente permettant d'atteindre l'aéroport de Toulouse-Blagnac en planer, si besoin. Puis, une fois que l'équipage est sûr d'atteindre la piste, l'équipage modifie l'affichage de la puissance, ce qui a pour conséquence d'éteindre les alarmes.

L'importante expérience des membres de l'équipage dans le domaine des essais en vol leur a permis de développer une stratégie pour faire face à cet incident pour lequel aucune procédure n'est prévue.

2.2.3.3.3. Communication avec les organismes de contrôle aérien

Alors que l'équipage tente de comprendre ce qui se passe et d'élaborer un plan d'action, le CDB souhaite immédiatement demander au contrôleur aérien à revenir vers Toulouse.

Concentré sur la gestion de la situation, l'équipage fait volontairement des messages concis à l'attention du contrôle aérien, mais peu précis. Le CDB annonce au contrôle une situation d'urgence sans en préciser la nature. Le message de détresse émis ne respecte pas vraiment la forme attendue.

Le manque d'information claire fait défaut aux contrôleurs pour optimiser les services du contrôle et d'alerte. Par manque de conscience de la situation, les contrôleurs interviennent sur la fréquence radio à trois reprises, lors de l'approche, à des moments inopportuns pour l'équipage et perturbent sans le vouloir la concentration de l'équipage.

La communication par l'équipage aux organismes du contrôle aérien sur la nature de l'état d'urgence est tardive puis imprécise. L'évènement illustre l'importance du respect des procédures de communication radiotéléphonique de détresse et d'urgence décrites par le SERA.14095¹³.

¹³ Les règles de l'air européennes standardisées (*Standardised European Rules of the Air, SERA*) sont décrites par le règlement européen n° 923/2012.

3. CONCLUSION

L'évènement est une chute intempestive et prolongée de la pression d'huile de chacun des deux moteurs.

3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement

Le jeudi 19 septembre 2019 à 9h25, l'ATR 42 MSN1414 décolle de l'aéroport de Toulouse-Blagnac pour son premier vol d'essais en sortie de chaîne de fabrication. L'équipage est composé d'un pilote d'essais commandant de bord en place droite, d'un pilote d'essais en place gauche et d'un ingénieur d'essai sur le strapontin.

Le profil d'essai « zéro g » comprend d'importantes variations d'assiette (+35°, -25°) visant à créer une microgravité prolongée par l'adoption d'une trajectoire parabolique. Les premiers essais réalisés durant la montée sont satisfaisants. Les manettes de puissance sont positionnées au ralenti vol, les alarmes de basse pression carburant restent éteintes tandis que celles de basse pression d'huile ENG OIL PRESS s'allument pour les deux moteurs. Les alarmes de basse pression d'huile ENG OIL PRESS s'éteignent lorsque l'accélération subie par l'appareil revient aux environs de 1 g.

Trente secondes plus tard, aux environs du niveau de vol 150, alors que l'équipage se prépare pour l'essai suivant, avec les manettes de puissance positionnées au *notch* et un facteur de charge aux environs de 1 g, les deux alarmes basse pression d'huile s'allument à nouveau. La situation anormale est confirmée par des indications de pression d'huile inférieures à 40 PSI (seuil d'allumage de l'alarme ENG OIL PRESS).

La procédure prescrite pour traiter une alarme ENG OIL PRESS n'est pas applicable simultanément aux deux moteurs. L'équipage est surpris par cette situation inattendue, et la communication, dans un premier temps, est perturbée. S'appuyant sur une expérience solide, l'équipage élabore un plan d'actions en réduisant la puissance des deux moteurs. Il annonce au contrôleur aérien une situation de détresse et fait route vers l'aéroport de Toulouse-Blagnac en s'attendant à un arrêt intempestif des deux moteurs. Durant ce retour, les pressions d'huile oscillent entre 39 et 42 PSI.

En finale, lorsque l'atteinte de la piste 32L est assurée, pour gérer l'énergie en accord avec la stratégie initiale, l'équipage fait piquer l'avion vers l'entrée de piste, affiche MCT au PWR MGT et ralenti vol. Dans les 30 secondes qui suivent, les alarmes de basse pression d'huile s'éteignent accompagnées par des indications normales de pression d'huile (> 55 PSI) pour les deux moteurs.

À 10h19, l'équipage pose l'avion et dégage la piste sans utiliser les *reverses*.

3.2. Causes de l'évènement

La chute intempestive et prolongée de la pression d'huile de chacun des moteurs est due à une accumulation de l'huile dans chaque réducteur hélice. Cette accumulation d'huile est causée par un changement de définition des réducteurs, dont un changement de l'écart entre les engrenages et le boîtier des réducteurs, introduit en 2018, à compter du moteur numéro ED1715, et associée à une manœuvre de microgravité prolongée. L'espace entre l'engrenage et son boîtier peut amener à modifier les caractéristiques de l'huile.

L'évaluation par PWC des conséquences des modifications apportées en 2018 à la production des réducteurs a été peu approfondie.

La manœuvre d'essais usuellement dénommée « zéro g » est en réalité une manœuvre de microgravité entretenue. Bien qu'étant un facteur contributif de l'évènement, la manœuvre réalisée est conforme à l'attendu.

La manœuvre nécessite des variations importantes d'assiette pour se mettre dans la configuration permettant de tester les systèmes. Ces conditions sont favorables au phénomène de rétention d'huile, lié à la microgravité.

3.3. Gestion de la panne

Dans le cadre de résultats d'essais majoritairement satisfaisants, la panne des deux moteurs simultanément n'est pas envisagée.

L'allumage des deux alarmes de baisse de pression d'huile fait craindre à l'équipage l'extinction des moteurs. En l'absence de solution immédiatement disponible, l'équipage a subi un niveau de stress certain.

La communication intra-équipage s'est appauvrie et l'élaboration d'un projet d'actions partagé par l'équipage a été légèrement différée.

L'importante expérience de l'équipage dans le domaine des essais en vol leur a permis de développer une stratégie pour faire face à cet incident pour lequel aucune procédure n'est prévue.

La communication par l'équipage aux organismes du contrôle aérien sur la nature de l'état d'urgence est tardive puis imprécise.

4. RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement

4.1.1. Certification

La technique d'usinage des réducteurs des moteurs PW127M mise en œuvre depuis 2018, à compter du moteur numéro ED1715, favorise un phénomène de rétention d'huile dans le réducteur hélice initié par une trajectoire parabolique de l'avion. Si l'occurrence du phénomène au cours d'une exploitation en transport aérien commercial semble extrêmement improbable, les modifications de fabrication introduites en 2018 ont toutefois introduit une sensibilité des moteurs à un risque de rétention qui n'avait pas été suspecté.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à Transport Canada et à l'AESA de prendre en compte, pour le suivi de navigabilité des moteurs de la série PW127, ainsi que des ATR 42 et des ATR 72 qui en sont équipés, une sensibilité des moteurs de la série PW127, à compter du numéro ED1715, à un risque de rétention d'huile dans le réducteur consécutif à une trajectoire parabolique.

R1 – [C-2019-11-I] Destinataires : Transport Canada, AESA

4.1.2. Criticité des changements à un certificat de type

En 2018, le processus de fabrication des réducteurs a fait l'objet de modifications qui ont été jugées mineures par PWC et ainsi classées en catégorie 2. La nouvelle définition est toutefois contributive au phénomène de rétention d'huile amorcé par la manœuvre « zéro g ».

En conséquence, le BEA-É recommande :

à Transport Canada et à l'AESA de promouvoir auprès de PWC une amélioration du processus de validation et de vérification de la gravité des modifications de définition.

R2 – [C-2019-11-I] Destinataires : Transport Canada, AESA

4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement

Si la synergie de l'équipage s'avère *a posteriori* efficace, le projet d'actions est fragilisé par une communication intra-équipage imprécise et l'absence d'un bilan partagé de l'état fonctionnel des moteurs.

Dans une telle situation, la décision immédiate d'un retour d'urgence vers le terrain a été privilégiée avant toute discussion sur l'état technique de l'appareil. En essais en vol, les situations inusuelles peuvent être très éloignées des situations rencontrées sur un appareil équipé de son CDN. Par conséquent, les procédures doivent être adaptées. La décision de l'équipage a permis d'optimiser la gestion de l'énergie et la trajectoire de l'appareil jusqu'à l'atterrissage. En revanche, une communication intra équipage et un bilan technique partagé plus précis auraient amélioré l'optimisation de l'opération.

L'équipage a suivi, au cours de sa formation de pilote d'essai, une formation FTRM¹⁴, adaptée aux vols d'essais. Un approfondissement de cette formation, notamment dans le domaine de la communication et de la gestion du stress spécifique aux vols d'essais pourrait permettre aux équipages de maintenir une bonne synergie même en cas de survenue d'évènement inattendu.

¹⁴ *Flight Test resource management.*

En conséquence, le BEA-É recommande :

à ATR de promouvoir auprès de ses équipages d'essais, les bénéfices apportés par la révision et l'approfondissement des formations de type FTRM.

R3 – [C-2019-11-I] Destinataire : ATR