



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

# BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

## RAPPORT

## D'ENQUÊTE DE SÉCURITÉ



### BEAD-air-A-2014-021-I

**Date de l'événement** 27 octobre 2014

**Lieu** Cadaujac (33)

**Type d'appareil** AS 555 AN Fennec n°5400

**Immatriculation** F-RAVH

**Organisme** armée de l'air

**Unité** EH 05.067 « Alpillès »

## AVERTISSEMENT

### COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'événement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'analyse des causes possibles de l'événement fait l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes retenues. Enfin, des recommandations de sécurité sont proposées dans le dernier chapitre.

Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures locales.

### UTILISATION DU RAPPORT

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 à l'esprit des règlements et relève de la responsabilité de son utilisateur.

---

## CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

**Page de garde :** Sirpa air

**Photos :**

- Pages 14 à 17 : BEAD-air
- Pages 22 à 27, 33 à 35 : DGA-EP

**Illustrations :**

- Pages 8, 14, 29, 30 : BEAD-air
- Pages 36, 38, 39, 47: armée de l'air
- Pages 21, 23, 25, 26, 30, 31, 33 à 35, 45, 46 : DGA-EP

**TABLE DES MATIERES**

AVERTISSEMENT	2
CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS	2
TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS	5
1. Renseignements de base	7
1.1. Déroulement du vol	7
1.2. Tués et blessés	9
1.3. Dommages à l'aéronef	9
1.4. Autres dommages	9
1.5. Renseignements sur le personnel	10
1.6. Renseignements sur l'aéronef	11
1.7. Conditions météorologiques	13
1.8. Aides à la navigation	13
1.9. Télécommunications	13
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	13
1.11. Enregistreurs de bord	13
1.12. Renseignements sur l'appareil et sur le site	14
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	18
1.14. Incendie	18
1.15. Questions relatives à la survie des occupants	18
1.16. Essais et recherches	19
1.17. Renseignements sur les organismes	19
1.18. Renseignements supplémentaires	19
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	19
2. Analyse	21
2.1. Résultats des expertises	21
2.2. Séquence chronologique de l'événement	29
2.3. Recherche des causes de l'événement	31
2.4. Gestion de l'événement par l'équipage	36
3. Conclusion	41
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	41
3.2. Causes de l'événement	41
4. Recommandations de sécurité	43
Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	43
4.1. Check-list	43
4.2. Palier arrière de la turbine libre	43
ANNEXES	44
ANNEXE 1 FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT D'HUILE	45
ANNEXE 2 SYMPTOMES ASSOCIES A LA PANNE MOTEUR ET PROCEDURE	47

**GLOSSAIRE**

AEV	Arrêt école vol
ASH	Analyse spectrométrique des huiles
BTA	Boîte de transmission arrière
BTP	Boîte de transmission principale
CDB	Commandant de bord
CEMPN	Centre d'expertise médicale du personnel navigant de l'aéronautique
CFA	Commandement des forces aériennes
CNOA	Centre national des opérations aériennes
DPM	Détecteur de particules magnétique
ECMA	Electro-clapet Marche-Arrêt
EH	Escadron d'hélicoptères
GG	Générateur de gaz
GTM	Groupe turbomoteur
MASA	Mesures actives de sûreté aérienne
PF	Pilote en fonction
RG	Révision générale
TAT	Temps d'auto rotation de la turbine libre
TL	Turbine libre

## SYNOPSIS

Date de l'événement : 27 octobre 2014 à 13h51  
Lieu de l'événement : commune de Cadaujac (33)  
Organisme : armée de l'air  
Commandement organique : commandement des forces aériennes (CFA)  
Unité : escadron d'hélicoptères EH 05.067 « Alpillles »  
Aéronef : AS 555 AN Fennec n°5400  
Nature du vol : entraînement aux mesures actives de sûreté aérienne (MASA)  
Nombre de personnes à bord : 4

### Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Un hélicoptère Fennec de l'EH 05.067, mis en place à Bordeaux dans le cadre du dispositif MASA, décolle le 27 octobre 2014 pour effectuer une mission d'entraînement. Après 10 minutes de vol, l'équipage est confronté à une avarie du groupe turbomoteur (GTM) droit avec une odeur de brûlé et un dégagement de fumée. Il pose l'appareil en campagne en mono turbine. Des dégâts sont constatés sur le GTM.

L'appareil est endommagé, l'équipage est indemne.

### Composition du groupe d'enquête de sécurité

- Un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents défense - air (BEAD-air) ;
- Un enquêteur de première information (EPI) ;
- Un sous-officier épaviste (BEAD-air) ;
- Un officier pilote ayant une expertise sur Fennec ;
- Un expert mécanicien ayant une expertise sur Fennec ;
- Un médecin du personnel navigant.

### Autres experts consultés

- Direction générale de l'armement – essais propulseurs / Division analyse et investigations (DGA-EP/DAI).
- TURBOMECA, constructeur du groupe turbomoteur (GTM) ARRIUS 1M.

### Déclenchement de l'enquête de sécurité

Le BEAD-air a été prévenu par le bureau maîtrise des risques de l'armée de l'air le 27 octobre 2014 vers 16h10.

Un EPI a été désigné et s'est rendu sur le site. Le groupe d'enquête s'est réuni le 29 octobre 2014 sur le site avec l'expert du constructeur du GTM afin de procéder aux constatations détaillées.

PAS DE TEXTE

## 1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

### 1.1. Déroulement du vol

#### 1.1.1. Mission

Indicatif mission : Murène 13

Type de vol : entraînement aux mesures actives de sûreté aérienne sur itinéraire

Type de mission : alerte en vol

Point de départ : aérodrome de Bordeaux-Mérignac (LFDB)

Heure de départ : 13h42

Point d'atterrissage prévu : aérodrome de Bordeaux-Mérignac (LFBD)

#### 1.1.2. Déroulement

##### 1.1.2.1. Préparation du vol

Dans le cadre du maintien en condition opérationnelle des équipages de l'EH 05.067, un vol d'entraînement aux MASA est programmé le 27 octobre 2014.

Le commandant de bord se met en relation dans la matinée avec le centre national des opérations aériennes (CNOA) afin de définir les modalités de ce vol (« *practice scramble*<sup>1</sup> » sur un itinéraire prédéfini).

L'équipage est constitué d'un commandant de bord (CDB) pilote non en fonction (PNF) en place droite, d'un copilote pilote en fonction (PF) en place gauche ainsi que de deux tireurs embarqués.

L'appareil est stationné sur le plot « MASA » destiné à la prise d'alerte.

La mission est déclenchée par le CNOA à 13h20 environ. Le profil de la mission sur itinéraire est connu et ne nécessite pas de préparation particulière. L'alerte et les éléments sont transmis au CDB par le directeur des vols de la base aérienne de Bordeaux. Le CDB prend les éléments du vol tandis que le copilote et les tireurs s'installent dans l'appareil. L'équipage effectue les vérifications en cabine.

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

La mise en route et le décollage sont effectués depuis la FATO<sup>2</sup> 11 sans que l'équipage ne relève d'anomalie.

Le PF effectue la sortie de la zone d'aérodrome vers le sud-est via les points SA puis SE. Au point SE, le CDB quitte la fréquence tour et fait initier une montée vers 2 000 pieds afin de contacter le centre de contrôle zonal.

---

<sup>1</sup> Décollage sur alerte en entraînement.

<sup>2</sup> FATO : Final approach and take-off.

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

Peu après le survol de SE, vers 1 900 pieds et à une vitesse de 100 nœuds, le CDB constate l'allumage du voyant ambre LIM<sup>3</sup> moteur droit. Il décide d'annuler la mission et fait faire demi-tour. Durant celui-ci, il sort le memento d'équipage. Le PF diminue la puissance au pas général et se met en légère descente pour « soulager les moteurs ».

Quelques instants plus tard, le voyant REG<sup>4</sup> rouge et les voyants « master alarme » s'allument. Le CDB constate une T4<sup>5</sup> en butée instrumentale à 950°C ainsi qu'un fort écart entre les valeurs de couples et de régimes moteurs avec des valeurs plus importantes pour le moteur droit, sans atteindre la butée. L'équipage perçoit une forte odeur de brûlé en cabine. De la fumée est aperçue à l'extérieur depuis le poste droit.

Le PF continue à descendre et identifie un champ propice à un poser en campagne sur la rive ouest de la Garonne. Le CDB annonce qu'il rencontre des difficultés techniques à la tour de Bordeaux-Mérignac. Il tente sans succès de couper le GTM droit par action sur l'interrupteur « AEV<sup>6</sup> ». Pendant ce temps le PF entame une prise de terrain par un virage à droite.

En finale, le CDB coupe le GTM droit par action sur le coupe-feu. L'atterrissage est effectué selon l'axe longitudinal du champ. Après une légère glissade, l'appareil s'immobilise au cap 165°. Le CDB ordonne l'évacuation et coupe le moteur gauche après l'arrêt du rotor. À l'extérieur, le copilote constate une fumée s'échappant de l'arrière du capot du moteur droit.

Le CDB rend compte de la situation à son unité par téléphone portable.



Trajet effectué par l'appareil depuis le décollage de Bordeaux-Mérignac

<sup>3</sup> Voyant de signalisation de présence de limaille.

<sup>4</sup> Voyant de panne de régulation.

<sup>5</sup> Température en sortie de la turbine du générateur de gaz.

<sup>6</sup> AEV : interrupteur trois positions (Arrêt / Ecole / Vol) permettant l'arrêt, la simulation de panne d'un moteur et la mise en route.

### 1.1.3. Localisation

- Lieu :
  - pays : France
  - département : Gironde (33)
  - commune : Cadaujac
  - coordonnées géographiques : N 44°44'52'' / W 000°30'52''
  - altitude du lieu de l'événement : 35 pieds environ
- Moment : jour
- Aérodomes les plus proches au moment de l'événement : Bordeaux-Saucats à 5 nautiques dans le 237° du lieu de l'événement. Bordeaux-Mérignac est à 10 nautiques dans le 300°.

### 1.2. Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles			
Graves			
Légères			
Aucune	4		

### 1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
AS555 AN			X	

### 1.4. Autres dommages

Sans objet.

## 1.5. Renseignements sur le personnel

### 1.5.1. Membres d'équipage de conduite

#### 1.5.1.1. Commandant de bord

- Age : 37 ans
- Unité d'affectation : EH 05.067
  - fonction dans l'unité : instructeur Fennec et Puma
- Formation :
  - qualification : CDB – Leader de formation. Licence à jour
  - école de spécialisation : centre d'instruction des équipages d'hélicoptères (CIEH)
  - année de sortie d'école : 1998
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont AS555 AN	sur tout type	dont AS555 AN	sur tout type	dont AS555 AN
Total (h)	3 740	1 564	11	11	11	11

Le CDB a connu une interruption de son activité lors du dernier semestre suite à un retour d'outre-mer et l'attribution de congés de fin de campagne.

Nouvellement affecté dans l'unité, il a repris l'activité aérienne en octobre et le vol précédent sur Fennec remonte au 23 octobre 2014.

#### 1.5.1.2. Copilote

- Age : 29 ans
- Unité d'affectation : EH 05.067
- Formation :
  - qualification : pilote opérationnel. Licence à jour
  - école de spécialisation : centre d'instruction des équipages d'hélicoptères (CIEH)
  - année de sortie d'école : 2012
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont AS555 AN	sur tout type	dont AS555 AN	sur tout type	dont AS555 AN
Total (h)	695	480	76	76	8	8

Vol précédent sur Fennec : 23 octobre 2014.

### 1.5.1.3. Autres membres d'équipage

Un chef d'équipe et un tireur du commando parachutiste de l'air sont embarqués respectivement aux places arrière gauche et droite.

## 1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'air
- Commandement organique d'appartenance : commandement des forces aériennes (CFA)
- Base aérienne de stationnement : base aérienne 115 d'Orange
- Unité d'affectation : escadron de soutien technique aéronautique 2E.005
- Type d'aéronef : AS 555 AN Fennec
  - configuration : MASA de jour
  - armement : armes légères des tireurs embarqués et leurs munitions
- Caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis
Cellule	AS555 AN	5400	5 585	T/A <sup>7</sup> : 485	S3 <sup>8</sup> : 87
Moteur gauche	ARRIUS 1M	1148	3 393	RG <sup>9</sup> : 893	T1 <sup>10</sup> : 87
Moteur droit	ARRIUS 1M	1145	4 043	RG : 916	T1 : 87

### 1.6.1. Maintenance

#### 1.6.1.1. Plan d'entretien du GTM

Jusqu'au 07 octobre 2014, l'entretien des GTM était effectué toutes les 100 heures de vol (visites T1) et toutes les 500 heures de vol (visites T2) selon le plan de maintenance défini par le constructeur.

À partir du 07 octobre 2014, le pas des visites T1 est passé à 150 heures et celui des visites T2 à 600 heures.

#### 1.6.1.2. Maintenance réalisée sur le GTM 1145

L'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien conforme aux programmes de maintenance en vigueur.

Le GTM 1145 est sorti de révision générale le 14 décembre 2010. Il a été posé sur l'hélicoptère le 5 juillet 2011. Au cours de sa révision, la rampe d'injection, la turbine libre (TL) ainsi que tous les roulements dont celui de la TL ont été remplacés.

<sup>7</sup> Visite de base effectuée toutes les 600 heures, sans dépasser 24 mois.

<sup>8</sup> 3<sup>ème</sup> visite supplémentaire après visite T/A. Les visites supplémentaires doivent être effectuées toutes les 150 heures sans dépasser 12 mois.

<sup>9</sup> RG = révision générale.

<sup>10</sup> Visite effectuée toutes les 100 heures.

Il a subi une visite T2/500h en avril 2013 au cours de laquelle une vidange d'huile a été effectuée. Des compléments d'huile ont été réalisés : 1,9 l le 21 avril 2014 et 3,1 l le 23 mai 2014.

La dernière opération d'entretien (visite T1) a été effectuée le 6 juin 2014 à 829 heures de fonctionnement depuis la révision générale (RG) et la suivante était planifiée à 979 heures de fonctionnement.

### Tests de contrôle

#### - Analyses spectrométriques des huiles

Les résultats des analyses spectrométriques de l'huile de fonctionnement (ASH) réalisées jusqu'au 7 octobre 2014 toutes les 100 heures de fonctionnement (150 heures à partir de cette date) ne révèlent aucune anomalie. Les concentrations recherchées sont normales. Elles ne permettent pas de détecter une progression vers des seuils d'alerte.

#### - Temps d'auto rotation de la turbine libre

Le relevé du temps d'auto rotation de la turbine libre (TAT) est requis à chaque visite après le dernier vol de la journée. Il est comptabilisé à partir de 80% de NG (vitesse de rotation du générateur de gaz) jusqu'à l'arrêt complet et doit être supérieur à 30 secondes.

Les TAT relevés entre le 10 juin et le 26 octobre 2014 sont dans les tolérances. Ils varient entre 44 et 53 secondes sans qu'une tendance à diminuer soit observée.

#### 1.6.1.3. Antécédents sur le GTM 1145

Deux allumages du voyant LIM ont été signalés : l'un à 203 heures de fonctionnement après la dernière RG, puis un autre à 781 heures. Ces deux allumages LIM n'ont pas été confirmés par la présence de particule sur les détecteurs de particules magnétiques (DPM) et ont été reliés à un dysfonctionnement des détecteurs.

Ces deux occurrences ont fait chacune l'objet d'une surveillance rapprochée toutes les 5 heures de fonctionnement pendant 25 heures sans noter d'anomalie. Le pas normal de maintenance a ensuite été repris, conformément à la documentation.

Chaque allumage d'un voyant LIM fait l'objet d'un contrôle visuel des DPM. Si la présence de particules est observée, celles-ci sont prélevées et l'échantillon est transmis aux services de l'industriel pour analyse et conduite à tenir.

#### 1.6.2. Performances

L'appareil ne faisait l'objet d'aucune restriction de vol. Aucune anomalie n'a été détectée.

Le dernier relevé de performances du GTM 1145, effectué avant la dernière visite T1, fait état de résultats satisfaisants tant au niveau de la charge thermique qu'au niveau de la réserve de puissance.

### 1.6.3. Masse et centrage

La masse au décollage est dans les limites autorisées, à 2 500 kg.  
Le centrage est dans les normes.

### 1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F34.
- Quantité de carburant au décollage : 550 litres.
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : environ 500 litres.

### 1.6.5. Autres fluides

Huiles GTM et ensembles mécaniques (BTP et BTA) : O156.

## 1.7. Conditions météorologiques

Conditions CAVOK<sup>11</sup> sur la région, vent du secteur 100° pour 9 nœuds, QNH 1020 conformes aux prévisions.

## 1.8. Aides à la navigation

Sans objet.

## 1.9. Télécommunications

L'équipage contacte la fréquence de Bordeaux-Mérignac dès l'apparition des alarmes pour rendre compte de ses difficultés et de ses intentions. La liaison radio avec Bordeaux n'a plus été possible une fois l'appareil posé.

## 1.10. Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet.

## 1.11. Enregistreurs de bord

L'appareil n'est équipé d'aucun dispositif d'enregistrement.

---

<sup>11</sup> CAVOK : ceiling and visibility OK.

## 1.12. Renseignements sur l'appareil et sur le site

### 1.12.1. Examen de la zone d'atterrissage

L'équipage a posé l'appareil au cap 165° dans un champ bordé d'arbres situé sur la rive ouest de la Garonne. L'hélicoptère a glissé sur 8 mètres environ avant de s'immobiliser.



Position de l'appareil sur l'aire de poser identifiée



Vue panoramique de la zone de poser

### 1.12.2. Examen de l'appareil

#### 1.12.2.1. Constatations générales

Des traces de suie sont constatées sur l'extérieur des capotages du compartiment moteur droit. La face intérieure des capotages du moteur droit a été détériorée par la chaleur. Le GTM droit est endommagé.

Aucun endommagement n'a été observé sur le reste de la cellule. Le rotor principal et le rotor anti-couple sont libres dans leur sens normal de fonctionnement mais bloqués dans l'autre sens. En cabine, le fil à casser de la manette coupe-feu du moteur droit est rompu.



Dépôts de suie sur les capotages du GTM droit

#### 1.12.2.2. Cabine

Les codes de panne suivants ont été relevés sur l'afficheur numérique<sup>12</sup> :

- A4020 : dépassement T4 ;
- B0050 : perte du signal du régime de rotation de la TL ;
- OILF : pré-colmatage du filtre à huile GTM.

#### 1.12.2.3. Compartiment du GTM droit

##### Constatations sur site

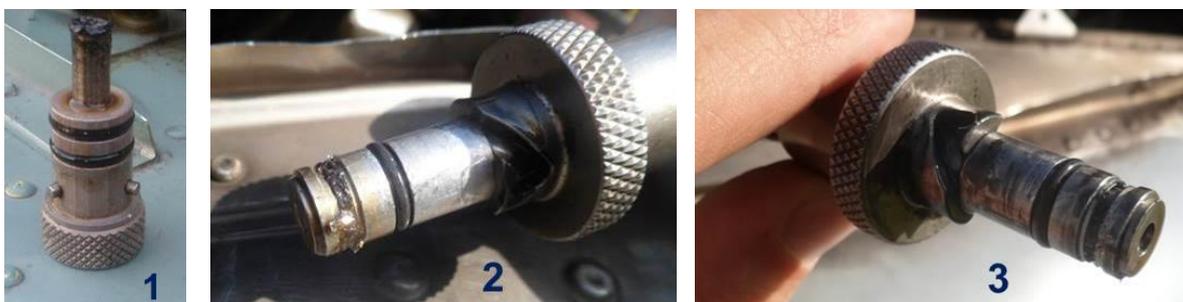


Aspect des capotages et du compartiment du GTM droit (GTM2)

<sup>12</sup> Ces codes pannes sont apparents sur deux afficheurs alphanumériques à 5 caractères (1 lettre et 4 chiffres) situés en partie supérieure de la planche de bord sous le tableau de pannes (1 par moteur).

Les observations suivantes ont été réalisées sur le site :

- le revêtement intérieur des capotages supérieur et droit est cloqué et délaminé ;
- des résidus de combustion sont présents sur toutes les parties avant et arrière du GTM ainsi que sur les tuyauteries de drainage situées sous le moteur ;
- un dépôt de suie sèche est observé sur la partie supérieure à l'avant du GTM ;
- la gaine du harnais T4/ boîtier de conformation est brûlée sur sa face arrière ;
- les détecteurs incendie sont en bon état et leur connexion intègre ;
- un bleuissement est observé sur un secteur du collier de tuyère ;
- l'ensemble tournant du générateur de gaz est bloqué, ainsi que la roue libre droite ;
- aucune évidence de fuite d'huile ou de carburant n'est relevée ;
- le niveau d'huile et sa coloration sont normaux. Le DPM du réservoir d'huile est couvert de particules et d'un dépôt noirâtre ;
- la présence de particules est constatée sur les DPM avant et arrière ;



Aspect des détecteurs de particules du GTM droit : DPM 1 réservoir d'huile ; DPM 2 avant ; DPM 3 arrière

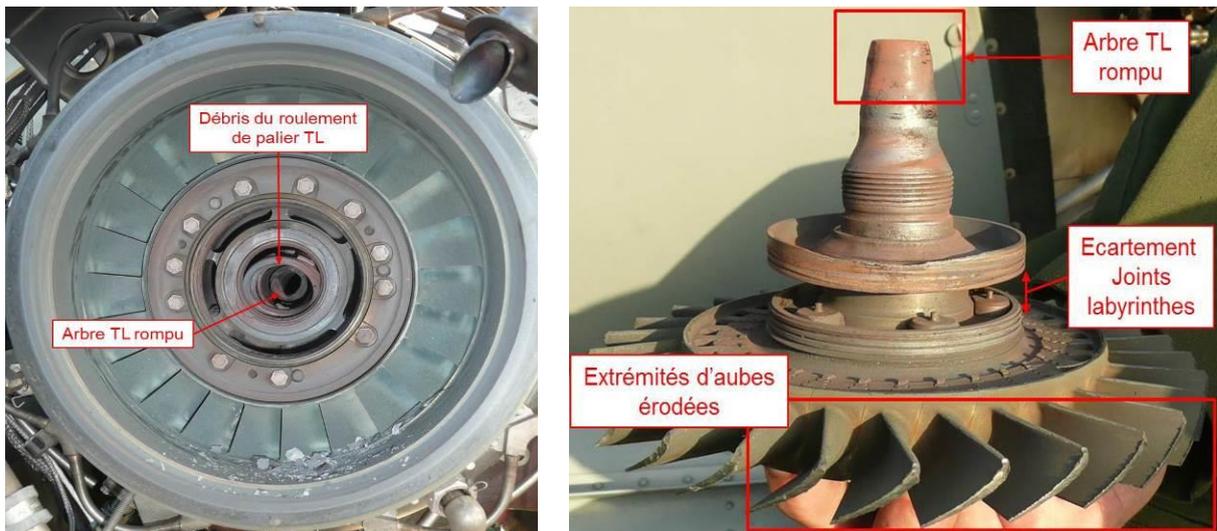
- le ventilateur (élément de la transmission au rotor arrière) est encrassé par l'aspiration de suies au travers de sa trappe de visite ;
- des traces d'interférence du disque de turbine libre (TL) avec le cône de tuyère en partie centrale et périphérique sont constatées ;
- le disque TL est désolidarisé de son arbre par rupture de ce dernier.



Turbine libre excentrée et particules métalliques en partie inférieure du carter

Le disque TL est déposé à la main sans difficulté. Il est constaté :

- la présence de nombreuses particules métalliques sur la partie inférieure du carter TL ;
- des traces de frottement sur l'extrémité des aubes du disque TL ainsi que dans le carter TL ;
- que le palier TL est détruit et sec, que les cages extérieures du roulement sont libres. Aucune bille ni roulement ou bague intérieure n'est visible ;
- un écartement anormal et un marquage des bagues du joint labyrinthe ;
- la rupture de l'arbre TL au niveau de la zone de pénétration dans l'arbre du générateur de gaz.



Aspect du palier de turbine libre après dépose du disque TL et état du disque TL désolidarisé

### Constatations en atelier

Il est constaté, après la dépose du GTM droit en atelier, la liberté de mouvement des rotors dans les deux sens.

#### 1.12.2.4. Autres constatations

Aucune anomalie n'a été relevée au niveau des ensembles et compartiments suivants :

- BTP et DPM, mât rotor principal et moyeu rotor principal ;
- transmission arrière, boîte de transmission arrière et DPM associé ;
- GTM gauche et DPM associés.

## **1.13. Renseignements médicaux et pathologiques**

### 1.13.1. Membres d'équipage de conduite

#### 1.13.1.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical :
  - type : expertise au centre d'expertise médicale du personnel navigant de l'aéronautique (CEMPN)
  - date : 1<sup>er</sup> septembre 2014
  - résultat : apte sans restriction
  - validité : 1 an
- Examens biologiques : sans objet

#### 1.13.1.2. Copilote

- Dernier examen médical :
  - type : expertise au CEMPN
  - date : 13 octobre 2014
  - résultat : apte sans restriction
  - validité : 1 an
- Examens biologiques : sans objet

### 1.13.2. Autres membres d'équipage

Le tireur et le chef d'équipe sont à jour de leur visite médicale périodique (valable 1 an) les déclarant aptes sans restriction.

## **1.14. Incendie**

Un dégagement de fumée à l'extérieur de la cabine a été observé. Une odeur de brûlé a été perçue par l'équipage dès l'apparition des premières alarmes, sans qu'il n'y ait eu d'allumage du voyant feu. Un témoin au sol a aperçu une épaisse fumée blanche s'échappant de l'appareil.

Le dégagement de fumée s'est arrêté peu après l'atterrissage sans qu'il n'y ait eu emploi d'un dispositif d'extinction. À aucun moment, des flammes n'ont été observées.

## **1.15. Questions relatives à la survie des occupants**

Suite à l'annonce par le CDB d'un atterrissage en sécurité en campagne et de la confirmation téléphonique de son exécution sans dommage corporel ni matériel, les secours ne sont pas intervenus.

## **1.16. Essais et recherches**

Sans objet.

## **1.17. Renseignements sur les organismes**

Sans objet.

## **1.18. Renseignements supplémentaires**

### **1.18.1. Organisation de la maintenance**

La maintenance s'organise autour de deux niveaux d'intervention :

- niveau NSI<sup>13</sup> : les révisions générales, les remplacements ou réparations de modules sont réalisés par l'industriel ;
- niveau NSO<sup>14</sup> : les visites T1 et T2 sont réalisées dans les ateliers de l'opérateur d'emploi. Ces visites regroupent les actions de maintenance courantes telles que les inspections visuelles du moteur et des organes accessoires équipements, les endoscopies, les lavages, les contrôles des vibrations, les changements de filtres, les ASH, etc.

### **1.18.2. Modification du palier arrière de turbine libre**

L'industriel a proposé une modification (TU72) dont le but était d'améliorer la tenue du palier arrière de la TL en augmentant la marge au glissement du roulement. Elle consiste à monter un labyrinthe étagé et par conséquent à retoucher l'arbre TL.

Cette modification a été adoptée par l'État (sous le numéro M85) lors de la 18<sup>ème</sup> commission locale de modification (CLM) en 2000. Son application a été suspendue lors de la 20<sup>ème</sup> CLM en 2002 par la DGA pour les raisons suivantes : selon l'industriel, le retour d'expérience issu de la flotte civile en termes d'amélioration n'est pas significatif. L'intérêt d'adopter cette modification n'est pas confirmé.

En parallèle, le processus industriel interne a évolué vers une amélioration de la gamme de montage. Selon l'industriel, cette amélioration du processus de montage est appliquée depuis 2008 sur les moteurs envoyés en RG ou sur toute réparation à ce niveau.

## **1.19. Techniques spécifiques d'enquête**

Sans objet.

---

<sup>13</sup> Niveau de Soutien Industriel.

<sup>14</sup> Niveau de Soutien Opérateur.

PAS DE TEXTE

## 2. ANALYSE

L'événement est un poser d'urgence en campagne en monomoteur suite à une avarie du turbomoteur droit et un début d'incendie.

L'analyse qui suit expose les points suivants :

- le résultat des expertises ;
- la séquence chronologique ;
- la recherche des causes de l'événement ;
- la gestion de l'événement par l'équipage.

### 2.1. Résultats des expertises

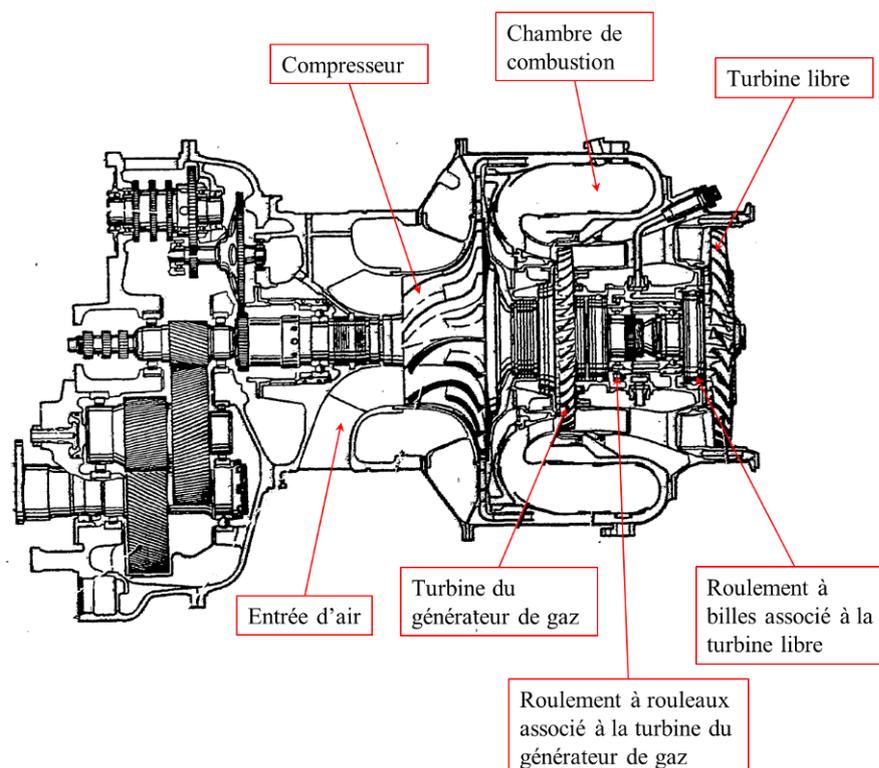


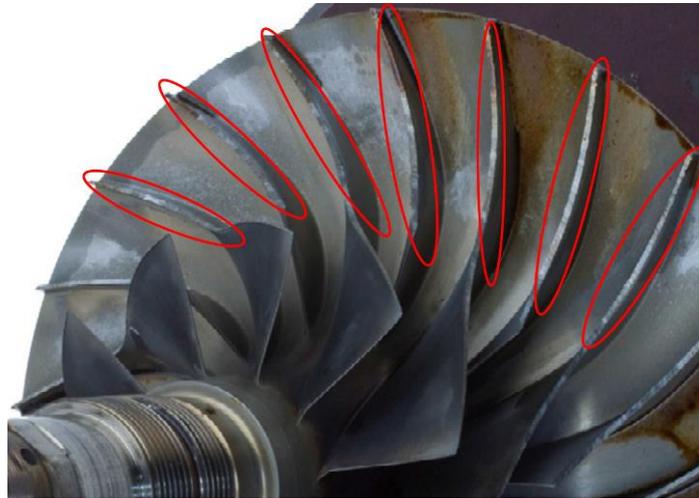
Schéma en coupe du turbomoteur Arrius 1M

Le turbomoteur droit a été expertisé. Les principaux endommagements sont localisés au niveau :

- du compresseur ;
- de la turbine générateur de gaz ;
- du carter intermédiaire ;
- de la turbine libre ;
- du circuit d'huile.

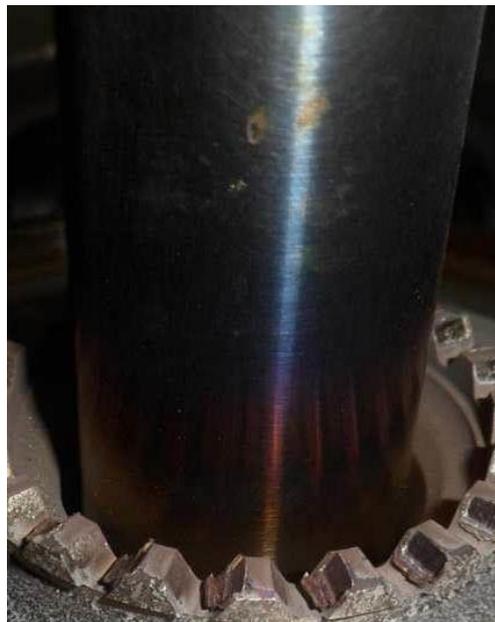
### 2.1.1. Compresseur

L'expertise montre que le revêtement abrasable<sup>15</sup> est localement endommagé par le contact avec les extrémités des aubes.



Vue des aubes du compresseur

L'arbre du générateur de gaz est irisé au niveau du compresseur, ce qui témoigne d'une forte contrainte thermique à ce niveau.

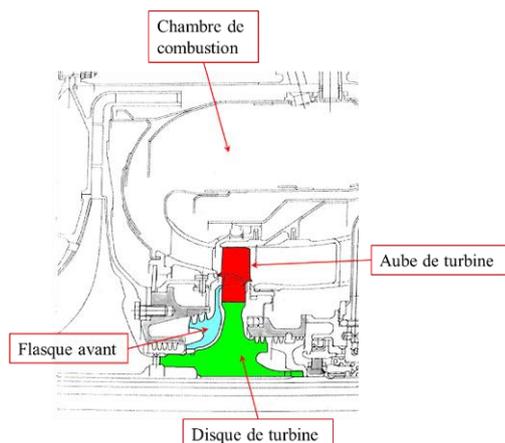


Irisation de l'arbre du générateur de gaz

---

<sup>15</sup> Permet l'étanchéité au niveau des aubes tout en autorisant un contact sans risque pour celles-ci.

## 2.1.2. Turbine générateur de gaz



Situation des aubes de la turbine générateur de gaz

L'expertise indique que les aubes de la turbine générateur de gaz sont détruites au-dessus de la demi-hauteur de veine. Ce type d'endommagement s'observe usuellement lorsqu'une turbine en rotation est soumise à une température très largement supérieure à la température de fonctionnement. Les aubes présentent des traces de fusion.



Aspect des aubes de turbine



Face arrière de la turbine avant sa dépose



Aube de turbine

**Les aubes de la turbine du générateur de gaz ont été endommagées par des températures supérieures à 1 300°C.**

### 2.1.3. Carter intermédiaire

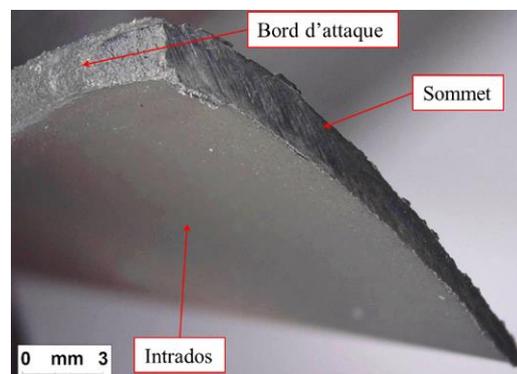
Le carter intermédiaire est situé entre la turbine du générateur de gaz et de la turbine libre. A ce niveau, quatre sondes de température sont installées. Elles sont retrouvées partiellement fondues.

**Les sondes de températures du carter intermédiaires ont été endommagées par des températures supérieures à 1 350°C.**

### 2.1.4. Turbine libre

La turbine libre présente de nombreux endommagements.

- Les aubes présentent une usure à leur sommet qui indique le contact de celles-ci avec le carter.



Aube de turbine libre

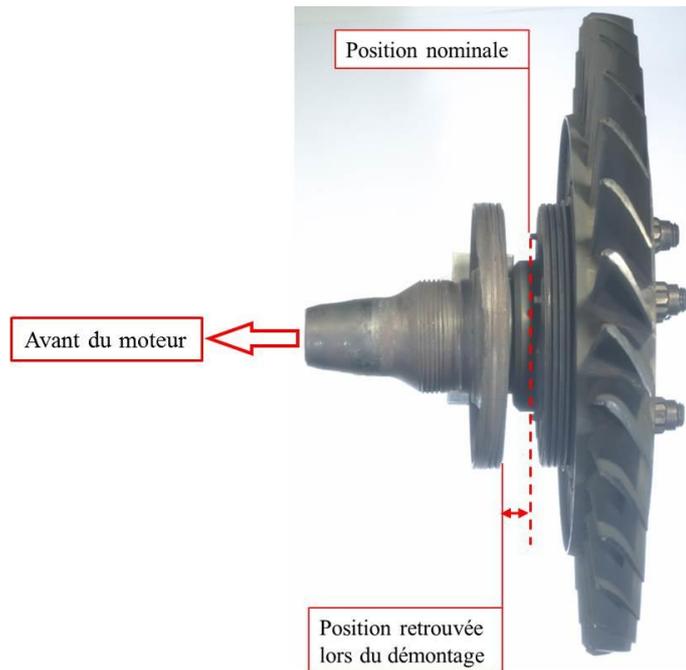
- Les labyrinthes avant et arrière de l'enceinte des paliers arrière sont détruits.



Labyrinthes avant des paliers arrière

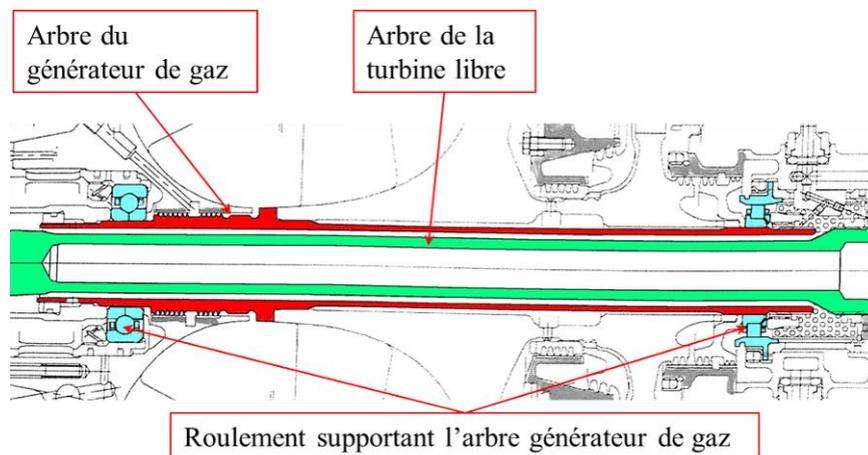
**L'étanchéité du circuit d'huile au niveau des paliers arrière n'est plus assurée.**

- Le flasque comportant la demi-bague intérieure arrière du roulement à billes a été retrouvé décalé de sa position normale sur sa portée.



Position du flasque à l'arrière de l'arbre de turbine libre

- L'arbre de turbine libre :



Situation des arbres du générateur de gaz et de la turbine libre

Des traces de frottement en rotation, associées à des transferts de matière sont présents sur l'arbre de turbine libre. L'expertise révèle que ces endommagements sont intervenus entre la surface intérieure de l'arbre du générateur de gaz et la surface extérieure de l'arbre de la turbine libre.



0 mm 10

Arbre de la turbine libre au niveau de la rupture



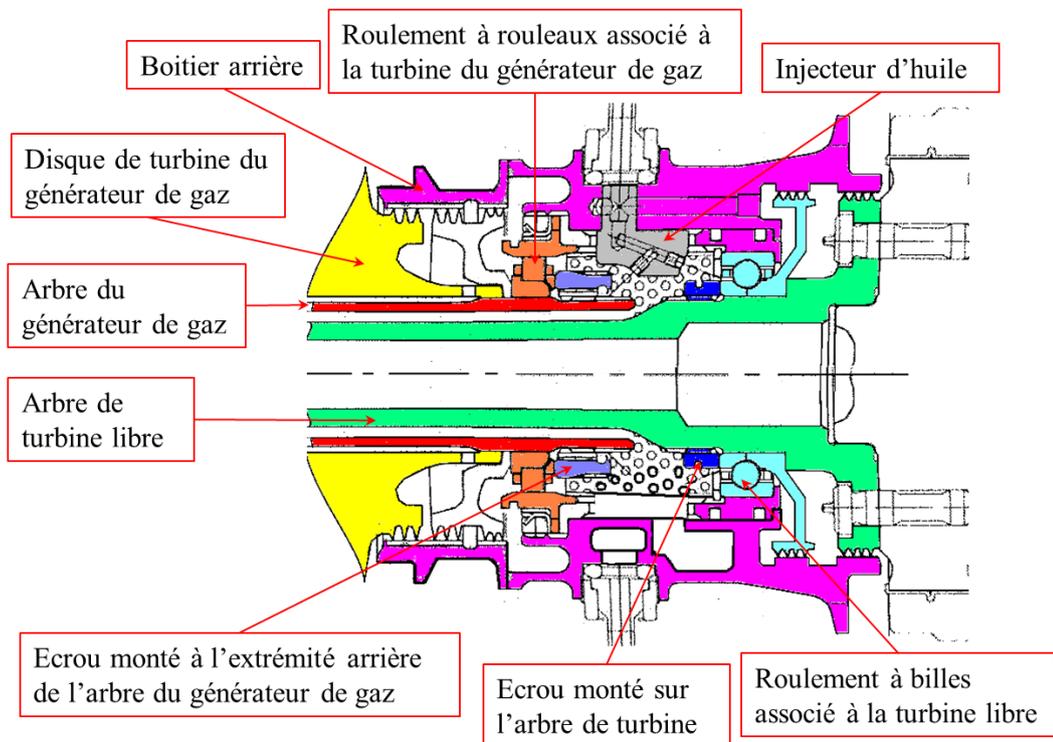
0 mm 10

Intérieur de l'arbre du générateur de gaz

L'expertise révèle que l'arbre de turbine libre s'est rompu sous l'effet d'une température très importante. L'intérieur de l'arbre du générateur de gaz a été endommagé par contact avec l'extrémité rompue de l'arbre de turbine libre encore en rotation qui s'est affaissé par gravité. Cet endommagement n'est présent que sur un secteur de l'arbre du générateur de gaz, attestant de l'absence de rotation de ce dernier.

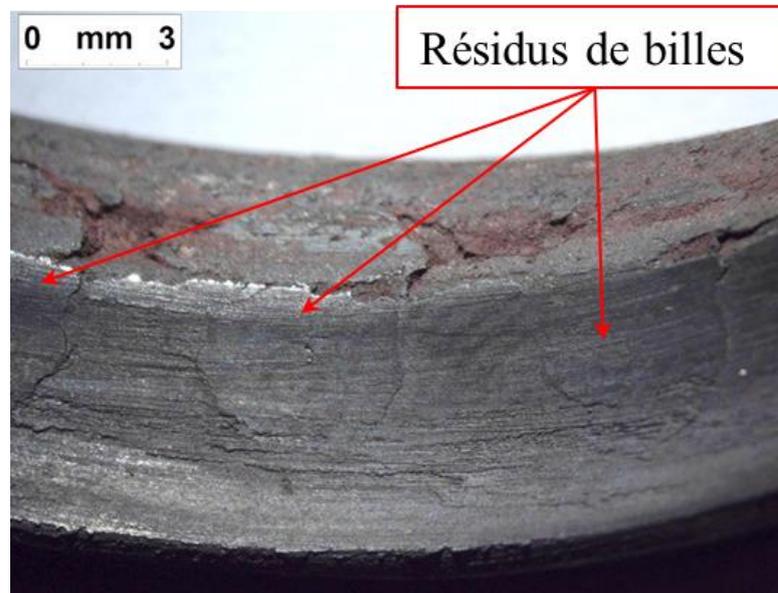
**La rupture de l'arbre de la turbine libre est intervenue alors que le générateur de gaz était arrêté.**

- Les roulements arrière :



Situation des roulements arrière

L'expertise révèle, sur les deux roulements arrière l'absence d'huile et des billes ou rouleaux de ces derniers. Les billes du roulement de la turbine libre ont fondu et sont étalées sur la cage extérieure.



Résidus de billes du roulement de la turbine libre sur la piste de roulement extérieure

#### 2.1.5. Circuit d'huile

Le circuit d'huile du turbomoteur Arrius 1M est équipé d'un manocontacteur de précolmatage qui indique l'état du filtre à huile : normal, partiellement colmaté ou colmaté (voir fonctionnement en annexe 1). Lorsque le filtre est partiellement colmaté ou colmaté, l'information est envoyée au boîtier annonceur de panne sous le code « OIL F ».

L'équipage n'en est pas informé en vol car cette indication est destinée à la maintenance.

L'expertise du manocontacteur révèle qu'il détecte le précolmatage du filtre à huile lorsque la différence de pression atteint 179 kPa au lieu d'être dans la plage définie de 102 à 138 kPa.

**La non-conformité du manocontacteur a pu occulter un précolmatage du filtre à huile intervenu lors des vols précédents.**

#### 2.1.6. Incendie

L'expertise montre que le combustible à l'origine de l'incendie est de l'huile moteur et que la zone de départ de feu se situe au droit des injecteurs carburant en partie supérieure. Aucune source de flamme nue<sup>16</sup> ou d'étincelle n'a été identifiée dans cette zone.

<sup>16</sup> La source d'énergie nécessaire pour amorcer une combustion peut être une flamme nue (au sens où il y a effectivement une flamme au contact du combustible) ou une source de chaleur.

### 2.1.7. Détecteurs incendie

L'expertise révèle qu'un détecteur est constaté non-conforme aux spécifications techniques. Il présente un seuil de détection de 391°C, au lieu des 400°C spécifiés. Les autres détecteurs sont testés dans les normes.

L'absence de détection de feu confirme l'existence d'un point chaud localisé sans propagation ayant provoqué la brûlure des capots supérieur et latéral.

**Le circuit de détection incendie est opérationnel.  
L'absence de détection de feu confirme l'existence d'un point chaud localisé et sans propagation.**

### 2.1.8. Commande d'arrêt du turbomoteur droit

La procédure d'arrêt normal du turbomoteur est exécutée à l'aide de l'interrupteur « AEV ». Il commande, via un faisceau électrique, l'électro-clapet « Marche/arrêt » (ECMA). L'ouverture de l'ECMA fait chuter la pression de carburant, ce qui entraîne l'arrêt du moteur.

L'expertise ne montre aucun dysfonctionnement de l'interrupteur, du faisceau électrique et de l'ECMA.

**La commande d'arrêt du turbomoteur droit est opérationnelle.**

Confronté à une alarme LIM sur le moteur droit, à une alarme REG et une température T4 en butée, l'équipage initialise après quelques secondes la coupure du moteur droit au travers de l'interrupteur « AEV ». Il a l'impression que cette commande est inopérante. La situation en cabine au moment de l'action sur l'interrupteur « AEV », à savoir une ambiance sonore fortement dégradée du fait de l'endommagement du GTM droit, une odeur de brûlé et la présence de fumée, a pu être de nature à altérer la perception de l'équipage quant à l'arrêt du turbomoteur droit.

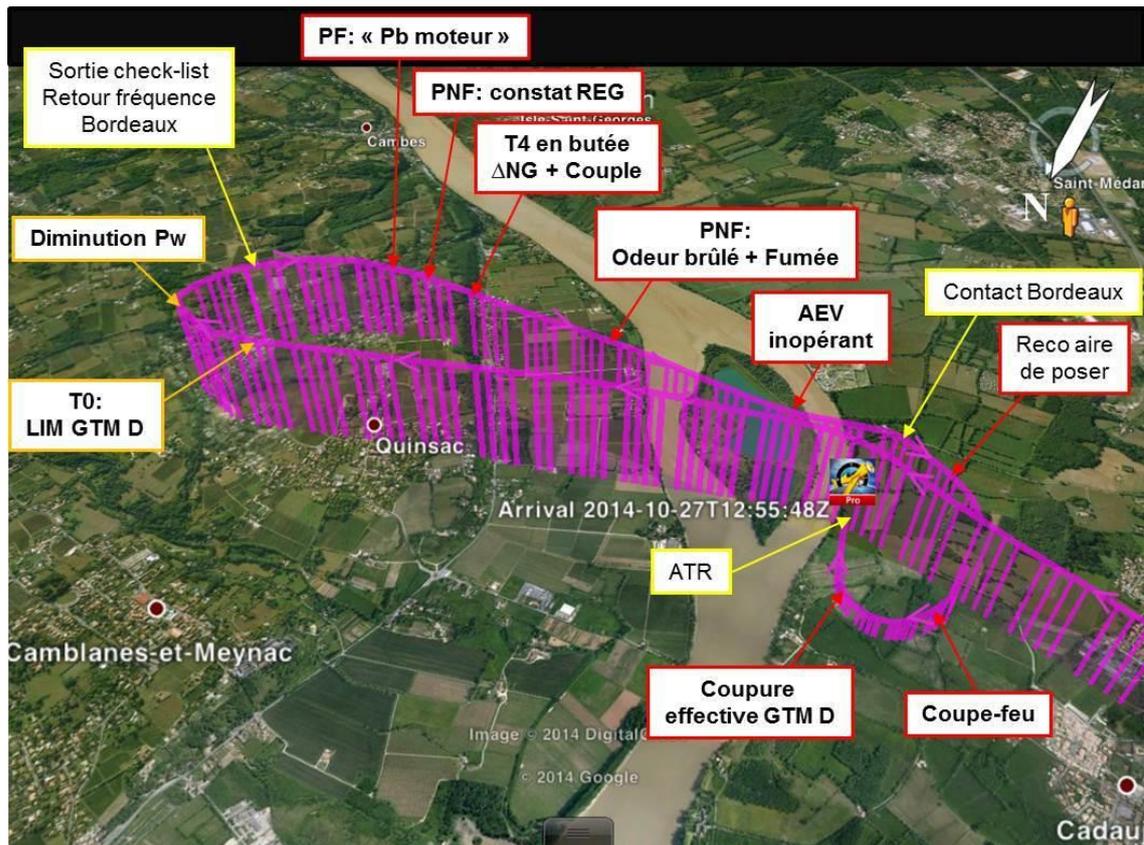
**Il est probable que l'action de l'équipage sur l'interrupteur « AEV » ait arrêté le GTM droit.**

## 2.2. Séquence chronologique de l'événement

### 2.2.1. Reconstitution de la trajectoire

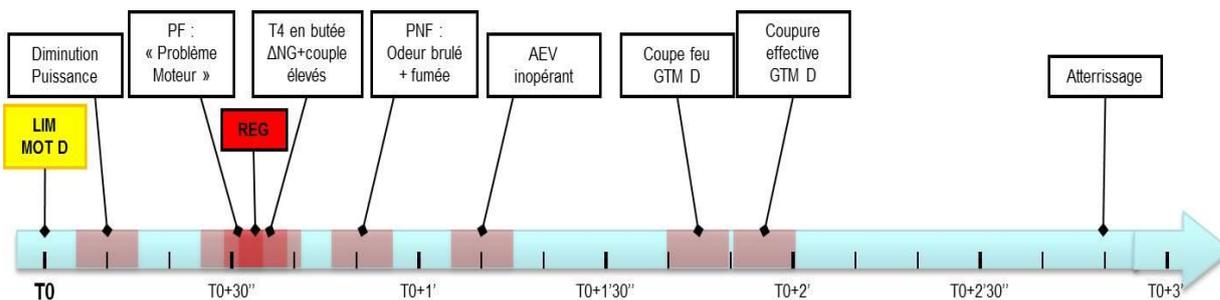
La trajectoire significative a été restituée à partir des données extraites de la tablette emportée à bord.

Les événements issus des témoignages des membres d'équipage sont référencés sur la trajectoire ci-dessous par rapport à une origine T0 (allumage du voyant LIM moteur droit). L'événement survient en vol stabilisé à 1 900 pieds / Vi 100 nœuds.



Événements significatifs sur la trajectoire

La trajectoire enrichie des témoignages de l'équipage permet d'estimer la chronologie du vol.

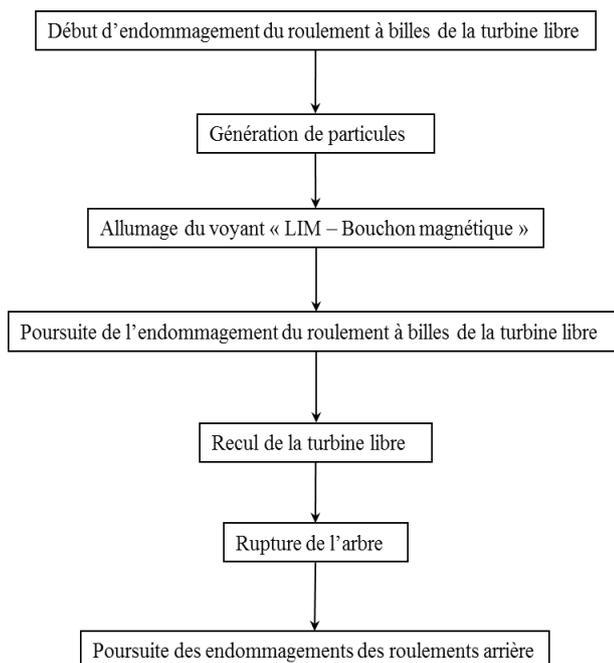


Séquence chronologique

Une incertitude de ± 5 secondes existe quant au positionnement chronologique de chacun des événements (rectangles orange).

### 2.2.2. Scénario possible d'endommagement du GTM

A partir des résultats des expertises évoqués précédemment, il est possible de définir le scénario d'endommagement du turbomoteur droit suivant :

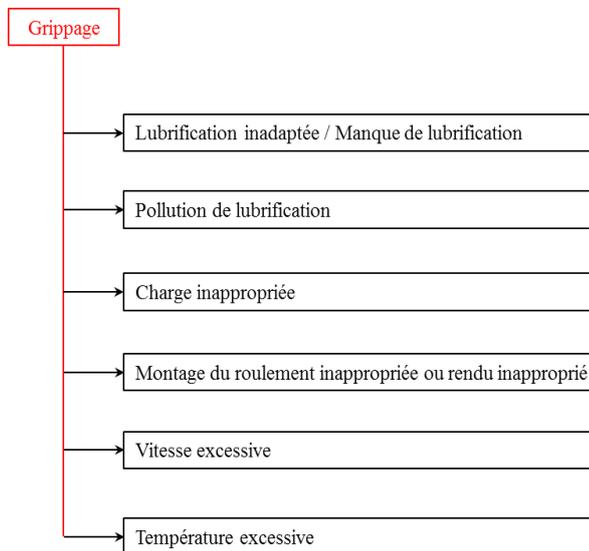


Scénario possible d'endommagement

## 2.3. Recherche des causes de l'événement

### 2.3.1. Endommagement du roulement à billes de la turbine libre

L'endommagement initial du roulement à billes de la turbine libre est un grippage qui peut avoir plusieurs origines.



Causes pouvant être à l'origine de l'endommagement du roulement à billes

#### 2.3.1.1. Lubrification inadaptée / Manque de lubrification

L'expertise montre que :

- de l'huile est bien présente au niveau des roulements arrière ;
- l'huile utilisée est conforme aux spécifications : O-156.

**L'hypothèse d'une lubrification inadaptée ou d'un manque de lubrification est rejetée.**

#### 2.3.1.2. Vitesse excessive

La turbine libre des turbomoteurs est protégée en survitesse. Aucune alarme relative à une vitesse excessive n'a été relevée.

**L'hypothèse d'une vitesse excessive de la turbine libre est rejetée.**

#### 2.3.1.1. Température excessive

L'expertise du turbomoteur droit n'a pas mis en évidence d'indice consécutif à une température excessive au niveau de la turbine libre. Sur l'ensemble de la flotte des turbomoteurs Arrius, aucun endommagement n'a été constaté pour ce motif.

**L'hypothèse d'une température excessive est rejetée.**

#### 2.3.1.2. Pollution de lubrification

Les expertises réalisées sur l'huile du turbomoteur droit indiquent une dégradation de l'huile consécutive à l'endommagement du roulement.

L'huile du turbomoteur gauche ne présente aucune anomalie.

**L'hypothèse qu'une pollution de l'huile du turbomoteur droit ait endommagé le roulement à billes est peu probable.**

#### 2.3.1.3. Contrainte anormale sur le roulement à billes

L'expertise n'a pas permis de révéler la présence d'une contrainte sur le roulement à billes.

**L'hypothèse que le roulement à billes de la turbine libre ait été endommagé par une contrainte anormale n'a pas été démontrée par l'expertise.**

#### 2.3.1.4. Montage du roulement inapproprié ou rendu inapproprié

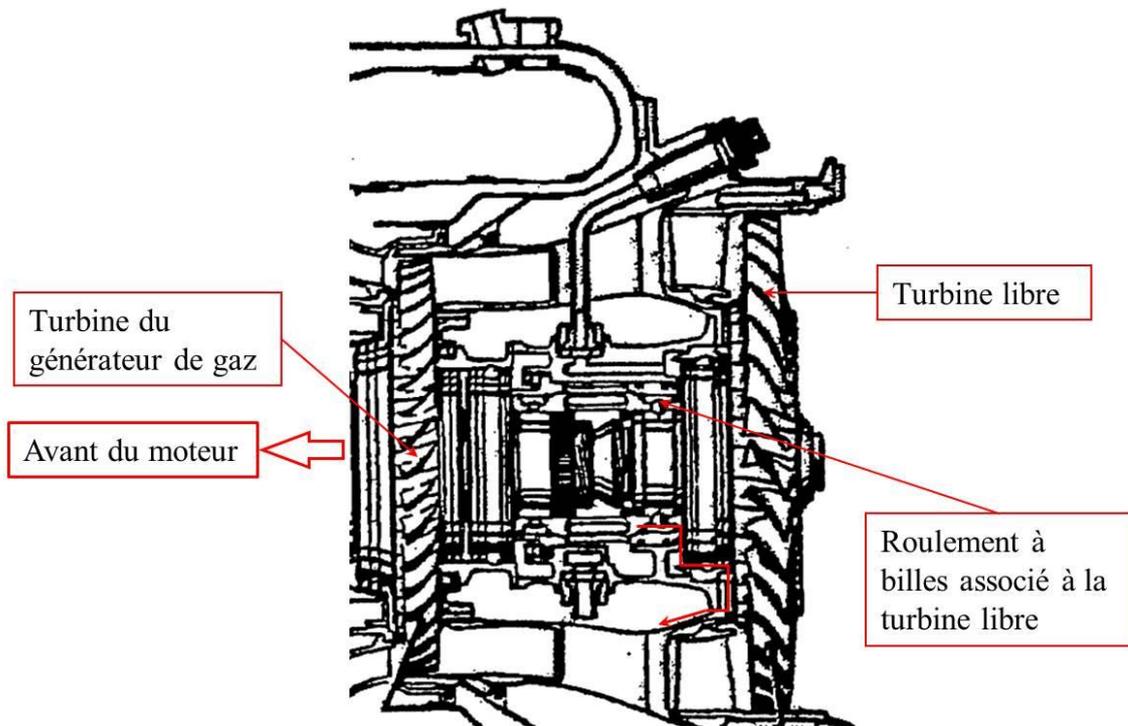
L'expertise n'a pas permis de mettre en évidence un défaut de montage sur le montage du roulement.

**L'hypothèse que l'endommagement du roulement à billes est dû à un montage inapproprié ou rendu inapproprié n'a pas été démontrée par l'expertise.**

#### 2.3.2. Origine du feu en vol

Les expertises réalisées ne peuvent pas déterminer précisément l'origine de l'incendie. Néanmoins, elles permettent de définir un scénario probable.

Étape 1 : le recul de la turbine libre provoque un endommagement du joint labyrinthe arrière. Cela permet une fuite d'huile, notamment en point bas.



Représentation schématique possible de la fuite d'huile

Étape 2 : une partie de cette huile s'accumule en point bas entre le boîtier roulement arrière et le carter distribution de la turbine libre.



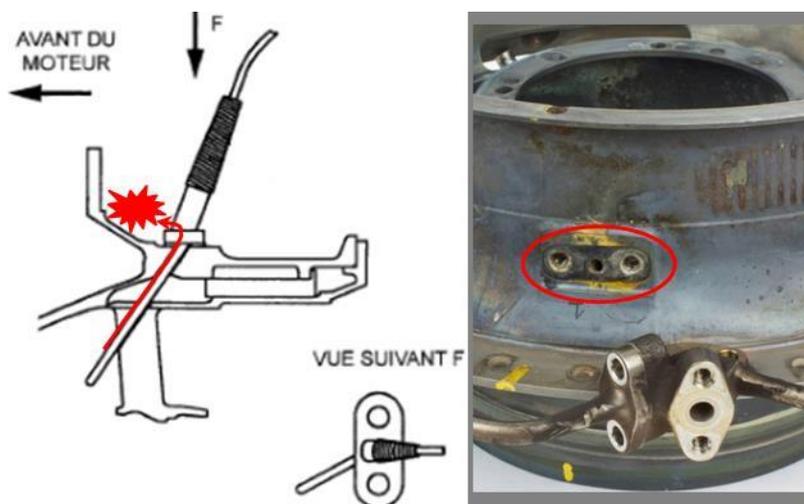
Traces de stagnation d'un fluide en point bas

Étape 3 : cette stagnation dans le carter permet d'atteindre la température d'évaporation de l'huile (205°C).



Schéma de l'évaporation de l'huile (vue depuis l'avant du moteur)

Étape 4 : des vapeurs d'huile s'infiltrent par les orifices de passage du thermocouple. Elles prennent feu par auto-inflammation au contact de l'air et des parois du carter de chambre de combustion.



Représentation schématique de l'auto-inflammation et vue du thermocouple n°1

La zone située au niveau de la sonde de température, en partie supérieure du moteur est le premier endroit où les cinq conditions du diagramme d'auto-inflammation ont pu être réunies, notamment :

- « température ambiante » : la température inter-turbine est supérieure à la température d'auto-inflammation de l'huile O-156 : 415°C ;
- « rayonnement » : la température de l'enveloppe du moteur est supérieure à 200°C, ce qui entretient l'évaporation de l'huile ;
- « quantité minimale » : présence d'une quantité minimale de carburant, la vapeur d'huile, pour que l'inflammation ait lieu ;
- « surface d'échange » : la surface d'échange entre l'huile vaporisée et l'oxygène est suffisamment importante pour que le mélange s'enflamme ;
- « oxygène » : présence d'oxygène en grande quantité.

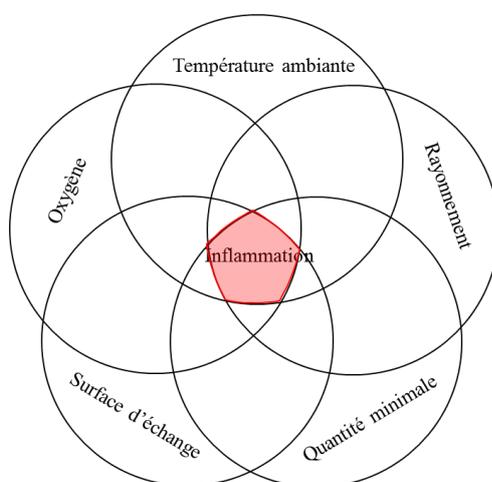
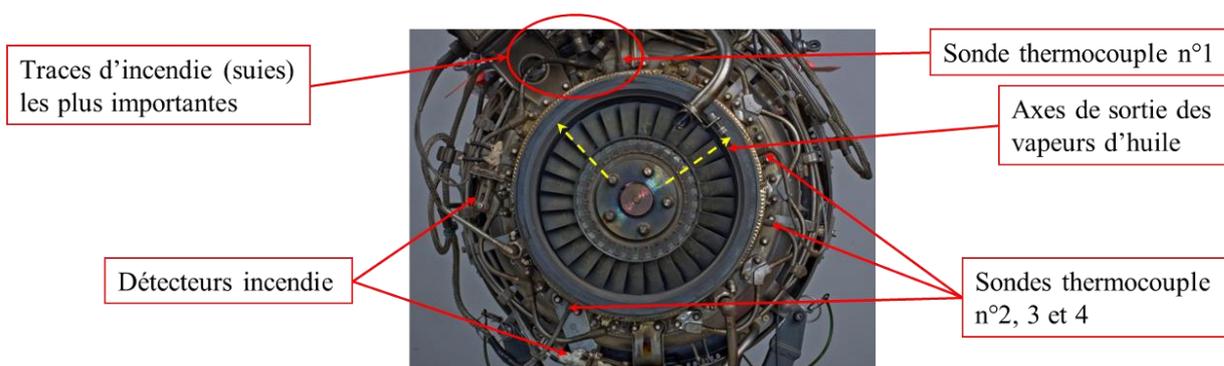


Diagramme d'auto-inflammation



Implantation des détecteurs d'incendie (vue de l'arrière) avec schématisation des axes de sortie des vapeurs d'huile

**Il est probable que l'incendie soit la conséquence de l'auto-inflammation des vapeurs d'huile au niveau du thermocouple n°1.  
L'incendie n'a pas été détecté compte tenu de sa localisation par rapport aux détecteurs.**

## 2.4. Gestion de l'événement par l'équipage

### 2.4.1. Panne ambre LIM MOT D (limaille moteur)

Dès l'apparition du voyant ambre LIM MOT D, le CDB décide d'annuler la mission et de faire demi-tour vers l'aérodrome de départ (Bordeaux-Mérignac). Le PF diminue la puissance au pas général afin de « soulager le moteur ». L'équipage surveille les paramètres de pression et de température et ne juge pas nécessaire de couper le moteur. Après vérification sur le mémento, l'équipage ne change pas son plan d'action qu'il estime conforme à la procédure.

**L'arrêt du moteur incriminé n'est pas jugé indispensable par l'équipage.**

#### Procédure limaille moteur

- Manuel de vol

"LIMAILLE MOT G" (CHIP ENG. LH ) ou "LIMAILLE MOT D" (CHIP ENG. RH )	Particules métalliques dans le circuit d'huile moteur correspondant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surveiller les paramètres pression et température d'huile du moteur incriminé</li> <li>- En fonction des conditions de vol, couper le moteur et écourter le vol</li> <li>- Eventuellement rallumer pour l'atterrissage si nécessaire.</li> </ul>
--	---	---

Extrait du manuel de vol chapitre 2.2 « voyants ambre »

- Mémento d'équipage

<b>LIM MOT G</b> ou <b>LIM MOT D</b>		
(PARTICULES METALLIQUES DANS LE CIRCUIT D'HUILE DU MOTEUR)		
- GTM concerné	PNF	En fonction des conditions de vol, couper selon procédure d'arrêt GTM en vol
- P° et T° GTM concerné	PNF	à surveiller si GTM non coupé
- GTM coupé	PNF	à rallumer pour l'atterrissage selon la procédure de rallumage en vol
<b>- ECOURTER LE VOL</b>		

Extrait du mémento d'équipage – Procédure voyant ambre LIM MOT gauche ou droit

Le mémento d'équipage mentionne en premier item de couper le moteur incriminé « en fonction des conditions de vol ». Il est plus restrictif que le manuel de vol qui indique de surveiller en premier lieu les paramètres de pression et de température d'huile.

Ces conditions de vol tiennent compte de la masse, de l'altitude et du milieu survolé mais ne sont pas explicitement rappelées dans le manuel de vol ou dans le memento.

**La décision de couper le moteur en cas de voyant LIM MOT est laissée à l'appréciation de l'équipage.**

#### 2.4.2. Procédure panne REG rouge

L'allumage du voyant REG rouge (panne régulation), commandé par le calculateur, traduit un blocage du doseur de la pompe HP dans sa position au moment de la panne. La régulation automatique du débit carburant n'est donc plus assurée. Sur action de la commande de pas général, les paramètres Ng, T4 et couple du moteur incriminé ne varient pas. Cette panne rouge implique une action immédiate.

Le manuel de vol conseille tout d'abord d'afficher 40% de couple à l'aide de la manette de débit puis d'écourter le vol.

Voyants	Pannes signalées	Actions pilote
REG.	Un des GTM est bloqué à débit carburant fixe. Un voyant rouge est allumé sur la manette de débit correspondante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Il est conseillé d'afficher sur le GTM en panne 40 % de couple à l'aide de la commande de débit.</li> <li>- Ecourter le vol.</li> <li>- Après atterrissage réduire le débit par la commande manuelle avant de baisser complètement le pas général.</li> </ul>

Extrait du manuel de vol – Procédure voyant rouge REG

Selon le memento d'équipage, la première consigne est d'écourter le vol. La deuxième consigne est d'éviter les variations de puissance et les facteurs de charge.

La première action vient après ces consignes et consiste à afficher 40% de couple à la manette de débit en vent arrière (du circuit d'atterrissage), ce qui autorise de voler avec un couple supérieur à 40%.

<b>REG</b> (PANNE DE REGULATION)		
<b>SYMPTOMES :</b> Sur le GTM en panne :		
- Couplemètre bloqué (débit carburant fixe)		
- Voyant rouge sur la commande de débit allumé.		
	PNF	acquitté
<b>- ECOURTER LE VOL</b>		
- Variation brusque Pw et facteur de charge	PF	à éviter (risque de survitesse rotor)
- Manette débit GTM en panne	PNF	afficher 40 % de couple en vent arrière
- Effectuer un ATR de précaution		
- Marquer le stationnaire		
Au sol :		
- Pas général	PF	baissé doucement
- NR	PF/PNF	surveiller ≤ 394 tr/mn
- Manette débit GTM en panne	PNF	sur la butée éclipseable
- GTM	PNF	coupé normalement
<b>▶ Le GTM ne s'arrête pas</b>		
- GTM	PNF	coupé avec la manette de débit en effaçant la butée éclipseable
<b>▶ Le GTM ne s'arrête toujours pas</b>		
- GTM	PNF	coupé à l'aide du « coupe-feu »
<b>Nota :</b>		
- Manette de débit hors du cran vol, <b>REG</b> s'allume		
- Le régime rotor est maintenu par l'autre GTM à l'intérieur de ses limites de puissance.		
- L'indication ΔNG est inexploitable lorsque le voyant <b>REG</b> est allumé ou lorsque la manette de débit est située hors du cran vol.		
- En bipilote, le PNF agira sur la manette de débit pour respecter les limitations de couple bimoteur (100% par GTM / C1+C2= 146% ou 156% selon la Vi)		
- En monopilote et à forte masse, le préaffichage sur le moteur en panne pourra être majoré.		
- Noter les paramètres régulations (panne, mémo) avant de couper « BAT G », « BAT D » et «  ».		
<a href="#">SOMMAIRE</a> 20 2014-01		

Extrait du memento d'équipage – Procédure voyant rouge REG

**Le memento d'équipage autorise de différer la réduction de couple à 40% lors du circuit d'atterrissage.**

Les premières actions sont en accord avec les premières consignes du memento d'équipage relatif à la panne REG rouge, mais pas avec le manuel de vol. L'équipage, dont la priorité est de poser l'appareil en campagne, ne mentionne aucune action immédiate à la manette de débit.

### 2.4.3. Température T4

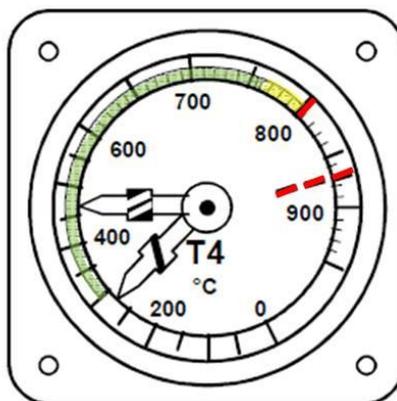
L'équipage mentionne, aussitôt après avoir perçu la panne REG rouge, une température T4 en butée instrumentale, soit au-delà de 950°C.

L'expertise du moteur a montré que la température atteinte était supérieure à 1 350°C.

T4 MAXIMALES	
Démarrage	750 ° C continu
	870 ° C durant 5 s maxi
Bimoteur	765 ° C en continu (PMC)
	800 ° C durant 5 mn (PMD)
Monomoteur	800 ° C durant 30 mn (PIU)
	870 ° C durant 2 mn 30 s (PMU)
Mode Ecole	765 ° C durant 30 mn (PIU)
	800 ° C durant 2 mn 30 s (PMU)

Extrait du memento d'équipage – limitations – Températures T4 maximales

Le schéma ci-dessous représente l'indication instrumentale de la température T4.



INDICATEUR DE  
TEMPERATURE  
t4

Arc vert  
Arc jaune  
Trait rouge  
Pointillé rouge

de 300 à 765 °C  
de 765 à 800 °C  
à 800 °C  
à 870 °C

Schéma de l'indicateur T4 et plages d'indications (extrait du manuel de vol)

**La T4 atteinte est largement supérieure aux valeurs maximales admissibles.**

### Procédures liées aux cas de dépassement de T4

Aucune consigne spécifique n'est mentionnée dans les cas d'excursion de T4 en dehors des limitations, aussi bien dans le manuel de vol que dans le mémento d'équipage.

Cependant, ces documents mentionnent plusieurs symptômes de panne moteur décrits par l'équipage (désalignement des couples, Ng, NTL, T4, écart NG) qui conduisent à la coupure volontaire du moteur incriminé à l'aide de l'AEV (voir extrait du manuel de vol et du mémento d'équipage en annexe 2).

L'équipage écourte le vol et recherche un terrain d'atterrissage en réaction à l'enchaînement REG rouge, T4 en butée et l'odeur de brûlé perçue en cabine.

L'action de l'équipage sur l'interrupteur « AEV » est consécutive à la perception d'odeur de brûlé et de fumée et non immédiatement après les autres symptômes observés, dont l'excursion de T4.

**L'initialisation de l'arrêt du turbomoteur droit n'est pas immédiatement effectuée après la perception de la température T4 en butée instrumentale.**

### 3. CONCLUSION

L'événement est un poser d'urgence en campagne en monomoteur suite à une avarie du turbomoteur droit et un début d'incendie.

#### 3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement

Un vol d'entraînement à la MASA est effectué le 27 octobre 2014 depuis la base de Bordeaux-Mérignac. L'équipage se compose d'un commandant de bord (CDB) en place droite, d'un pilote en fonction (PF) en place gauche ainsi que de deux tireurs embarqués.

Après environ 10 minutes de vol, alors que l'appareil se trouve à 1 900 pieds et une vitesse de 100 nœuds, le CDB constate l'allumage du voyant ambre LIM moteur droit. Il décide d'annuler la mission et ordonne de faire demi-tour.

Quelques instants plus tard, le voyant REG rouge et les voyants « master alarme » s'allument. Le CDB constate une T4 en butée instrumentale à 950°C sans allumage du voyant feu et un désalignement entre les valeurs de couples et entre les régimes moteur. L'équipage perçoit une forte odeur de brûlé en cabine et voit un dégagement de fumée à l'extérieur côté droit.

Le CDB initialise une coupure du GTM droit via l'interrupteur « AEV ». En l'absence de certitude de l'arrêt effectif du moteur, le CDB actionne le coupe-feu du moteur droit en finale d'approche.

Le PF pose le Fennec selon l'axe longitudinal d'un champ. Le CDB coupe le moteur gauche et après l'arrêt du rotor ordonne l'évacuation de l'appareil. À l'extérieur, le PF constate que de la fumée s'échappe de l'arrière du capot moteur droit.

Le GTM droit est endommagé, l'équipage est indemne.

#### 3.2. Causes de l'événement

Les causes de cet événement relèvent du domaine technique.

L'événement est dû à la destruction du roulement à billes de la turbine libre. Le recul de cette dernière provoque une fuite d'huile qui, en stagnant en partie basse puis en s'évaporant est à l'origine d'un feu.

Parallèlement, le recul de la turbine libre engendre des efforts sur l'arbre qui vont conduire à sa rupture.

L'état de destruction du roulement à billes de la turbine libre ne permet pas de déterminer la cause précise ayant amorcé son endommagement.

Les endommagements importants constatés sur les autres parties du moteur droit sont consécutifs à la dégradation du roulement et aux sollicitations du moteur.

PAS DE TEXTE

## 4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

### Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement

#### 4.1. Check-list

Lorsqu'une panne REG survient, le manuel de vol conseille « d'afficher sur le GTM en panne 40% de couple à l'aide de la commande de débit ».

Le memento équipage indique quant à lui « d'afficher 40% de couple en vent arrière », ce qui autorise un temps de vol avec un couple supérieur à 40%.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense - air recommande à :

**l'armée de l'air de modifier la check-list relative à la panne de régulation.**

#### 4.2. Palier arrière de la turbine libre

L'industriel a proposé une modification (TU72) dans le but d'améliorer la tenue du palier arrière de la TL.

L'intérêt d'adopter cette modification n'est pas confirmé car le retour d'expérience issu de la flotte civile en termes d'amélioration n'est pas significatif.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense - air recommande à :

**Turboméca d'étudier l'effet de la mise en application de la modification TU72 sur la destruction du palier de turbine libre constaté dans cet événement.**

## ANNEXES

ANNEXE 1 Fonctionnement du circuit d'huile .....	45
ANNEXE 2 Symptômes associés à la panne moteur et procédure .....	47

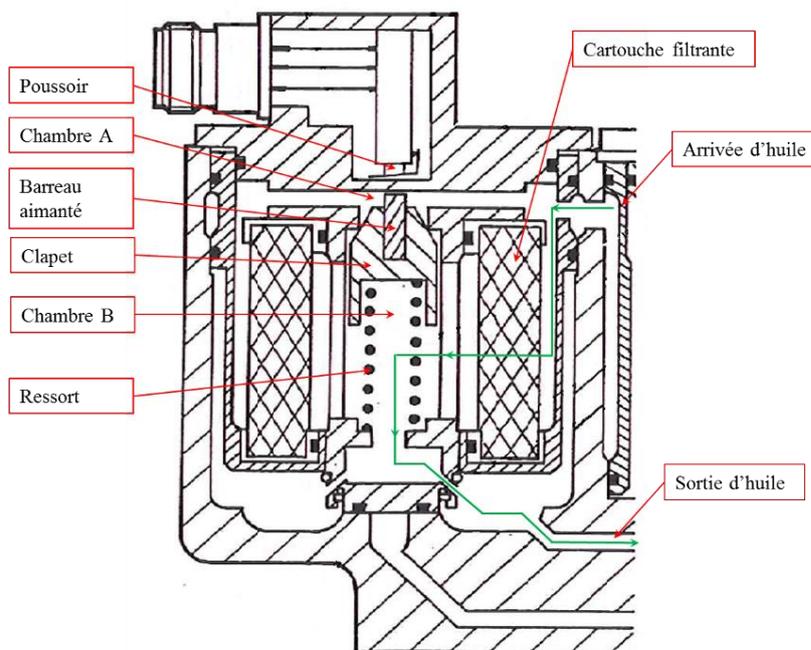
## ANNEXE 1

## Fonctionnement du circuit d'huile

Le circuit d'huile du turbomoteur Arrius 1M est équipé d'un manocontacteur de précolmatage qui indique l'état du filtre à huile : normal, partiellement colmaté ou colmaté. Lorsque le filtre est partiellement colmaté ou colmaté, l'information est envoyée au boîtier annonceur de panne sous le code « OIL F ». L'équipage n'en est pas informé en vol car cette indication est destinée à la maintenance.

En situation normale, l'huile pénètre dans le filtre à huile et traverse la cartouche filtrante avant d'aller lubrifier le moteur.

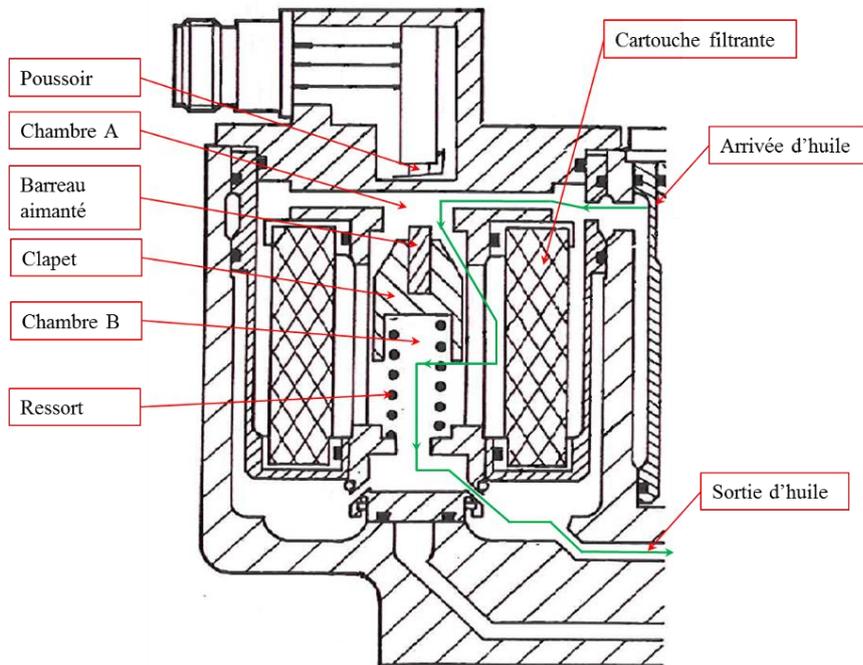
En cas de colmatage partiel, lorsque la différence de pression entre les chambres A et B atteint 120 kPa<sup>17</sup>, un clapet descend suffisamment mais sans s'ouvrir pour que le champ d'attraction entre le barreau aimanté et le poussoir devienne trop faible. L'huile circule de la même manière qu'en situation normale.



Circulation de l'huile dans le filtre à huile en situation normale ou en cas de précolmatage

<sup>17</sup> Avec une tolérance de  $\pm 15\%$ , soit entre 102 et 138 kPa.

Le filtre est dit « colmaté » lorsque la différence de pression entre les chambres A et B atteint 220 kPa<sup>18</sup>. Dans ce cas, le clapet descend et l'huile ne passe plus à travers la cartouche filtrante.



Circulation de l'huile dans le filtre à huile en cas de colmatage

<sup>18</sup> Avec une tolérance de 15%, soit entre 187 et 253 kPa.

ANNEXE 2

Symptômes associés à la panne moteur et procédure

1. Extrait du manuel de vol

3.2 Panne d'un GTM en vol

Le vol peut être poursuivi en monomoteur, en respectant les limitations.

Les symptômes sont :

- Léger à-coup en lacet, R
- Changement du niveau sonore, R
- Désalignement des : couples - Ng - NTL - t4 - écart Ng, R
- Allumage du voyant "GENE" (GEN) du moteur en panne, R
- Baisse de pression d'huile, R
- Allumage du voyant "PH MOT" (ENG OIL PRESS), R
- Fonctionnement du klaxon si NR est égal ou inférieur à 360 tr/mn. R

Dans ce cas :

- Sur le moteur restant : R
  - . Réduire éventuellement le prélèvement d'air chaud.
- Sur le moteur en panne, effectuer les actions suivantes : R
  - . Sélecteur ARRET-VOL (FLT-OFF) sur ----- ARRET (OFF)
  - . Pompe de gavage ----- ARRET (OFF)
  - . Génératrice ----- ARRET (OFF)
- Si nécessaire ouvrir le robinet d'inter-communication des réservoirs. R
- Débit génératrice du moteur restant ----- Vérifier R
- Si nécessaire délester les circuits électriques (Voir limitations Section 2.1 paragraphe 14.2) R

Suivant l'origine de la panne, tenter un rallumage en appliquant la procédure normale.

Symptômes perçus par l'équipage décrits dans le manuel de vol

2. Extrait du memento d'équipage

**SYMPTOMES PANNE D'UN GTM**

- A-coup en lacet
- Changement de niveau sonore
- Retentissement éventuel du klaxon si NR < 360 Tr/mn
- Désalignement des C%, Ng, T4 et ΔNg
- Allumage des voyants :
 

PHMOT

GEN D

OU

GEN G
- Baisse de la pression d'huile du moteur en panne
- Le vol peut être poursuivi en monomoteur en respectant les limitations.

**PROCEDURE D'ARRET VOLONTAIRE D'UN GTM EN VOL**

- Pas général	PF	baissé (C%=2x40%)
- AEV	PNF	arrêt
- « P.CARB »	PNF	arrêt
- « GENE »	PNF	arrêt

Symptômes de panne GTM décrits dans le memento d'équipage