



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT D'ENQUETE DE SECURITE



BEAD-air-A-2015-004-I

Date de l'événement	20 février 2015
Lieu	Base aérienne 105 Evreux
Type d'appareil	C160 R
Immatriculation	F-RAZM
Organisme	Armée de l'air
Unité	Escadron de transport 01.064 « Béarn »

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 : service photo BA 105

Photos :

- Page 19 : BEAD-air
- Pages 24, 25 : DGA EP/DAI/RESEDA

Illustrations :

- Page 8 : armée de l'air
- Pages 15, 16, 17, 18 : SNECMA
- Pages 21, 22 : DGA EP/DAI/RESEDA

TABLE DES MATIERES

CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS	2
TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS	5
1. Renseignement 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	9
1.6. Renseignements sur l'aéronef	11
1.7. Conditions météorologiques	14
1.8. Aides à la navigation.....	14
1.9. Télécommunications	14
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	14
1.11. Enregistreurs de bord	14
1.12. Renseignements sur l'aéronef	15
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques.....	19
1.14. Incendie.....	20
1.15. Questions relatives à la survie des occupants.....	20
1.16. Essais et recherches.....	20
1.17. Renseignements sur les organismes	20
1.18. Renseignements supplémentaires.....	20
1.19. Techniques spécifiques d'enquête.....	20
2. Analyse	21
2.1. Expertises	21
2.2. Scénario possible de l'incident.....	26
2.3. Recherche des causes de l'incident	27
Historique du moteur Tyme n°9572.....	27
3. Conclusion	31
3.1. Eléments établis utiles à la compréhension de l'événement	31
3.2. Nature de l'événement	31
3.3. Poursuite des travaux d'analyse approuvés par le BEAD-air	32
4. Recommandations de sécurité	33
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	33
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement.....	33

GLOSSAIRE

CDB	commandant de bord
CVR	<i>cockpit voice recorder</i>
DGA	direction générale de l'armement
DGA/EP/DAI	DGA Essais propulsion / division analyses investigations
ET	Escadron de transport
FDR	<i>flight data recorder</i>
GTP	groupe turbo propulseur
PF	pilote en fonction
RESEDA	restitutions des enregistreurs d'accidents
TGT	température gaz turbine

SYNOPSIS

Date de l'événement : 20 février 2015

Lieu de l'événement : BA 105 Evreux

Organisme : armée de l'air

Commandement organique : commandement des forces aériennes / brigade aérienne d'appui et de projection (CFA/BAAP)

Unité : escadron de transport (ET) 01.064 « Béarn »

Aéronef : C160 R

Nature du vol : vol d'entraînement dit « tenue machine »

Nombre de personnes à bord : 3

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

Le vendredi 20 février 2015, au cours de la phase de décollage d'un posé-décollé en mission d'entraînement « tenue machine », l'équipage du Transall n°R 095 de l'ET 01.064 « Béarn » perçoit une détonation provenant du côté gauche. Il interrompt le décollage, dégage la piste et neutralise un départ d'incendie sur le moteur gauche. L'équipage, indemne, évacue l'appareil. Les services d'incendie refroidissent l'appareil. L'aéronef est endommagé.

Composition du groupe d'enquête de sécurité

- Un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air).
- Un expert technicien du BEAD-air.
- Un officier pilote ayant une expertise sur C 160.
- Un sous-officier mécanicien ayant une expertise sur C 160.

Autres experts consultés

- SNECMA
- DGA Essais propulseurs /DAI/RESEDA

Déclenchement de l'enquête de sécurité

Le BEAD-air est prévenu téléphoniquement par le cabinet de l'état-major de l'armée de l'air le jour de l'événement. L'équipe d'enquête de sécurité se rend sur site le 23 février 2015.

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENT DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission : RAMILLE 21

Type de vol : vol à vue

Type de mission : Tenue Machine

Dernier point de départ : base aérienne (BA) 105 d'Evreux

Heure de départ : 14h50

Point d'atterrissage prévu : BA 105 d'Evreux

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

Une mission tactique impliquant plusieurs aéronefs est initialement prévue. Elle est annulée et le vol est transformé en vol d'entraînement de type « tenue machine¹ ».

Un briefing est effectué une heure avant le départ à l'avion. Il détaille l'ensemble des éléments de la mission. Un rappel des consignes de sécurité spécifiques à ce type de vol est effectué.

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

A 14h50, le Transall C160-R95 décolle de la piste 22 de la base aérienne 105 d'Evreux.

L'équipage est constitué d'un pilote en instruction en place gauche « pilote en fonction » (PF), d'un pilote commandant de bord (CDB), instructeur en place droite « pilote non en fonction » (PNF) et d'un mécanicien-navigant.

Après un premier tour de piste standard, au toucher des roues, l'équipage entame le redécollage.

1.1.2.3. Reconstitution de la partie significative du vol

La consigne de puissance de 15 250 tr/min est affichée. Lorsque les régimes des moteurs approchent de cette dernière, l'équipage perçoit une forte détonation accompagnée d'un à-coup latéral. Un flash lumineux de forte intensité est perçu sur la gauche de l'appareil.

Le PF aperçoit des flammes sortant du moteur gauche.

Le contrôleur présent à la tour observe des flammes à la sortie de la tuyère du groupe turbo propulseur (GTP) gauche.

Le CDB note que la vitesse indiquée (90 kt) est inférieure à la vitesse de décision V1.

Il ordonne l'interruption de décollage. Il reste 1 500 à 2 000 mètres de bande de roulement avant la fin de la piste.

¹ La tenue machine consiste à entraîner les équipages à la conduite de l'aéronef en zone d'aérodrome par l'exécution de séries d'atterrissages et de décollages, incluant des tests de pannes sur les circuits principaux.

Le PF applique la procédure d'interruption de décollage.

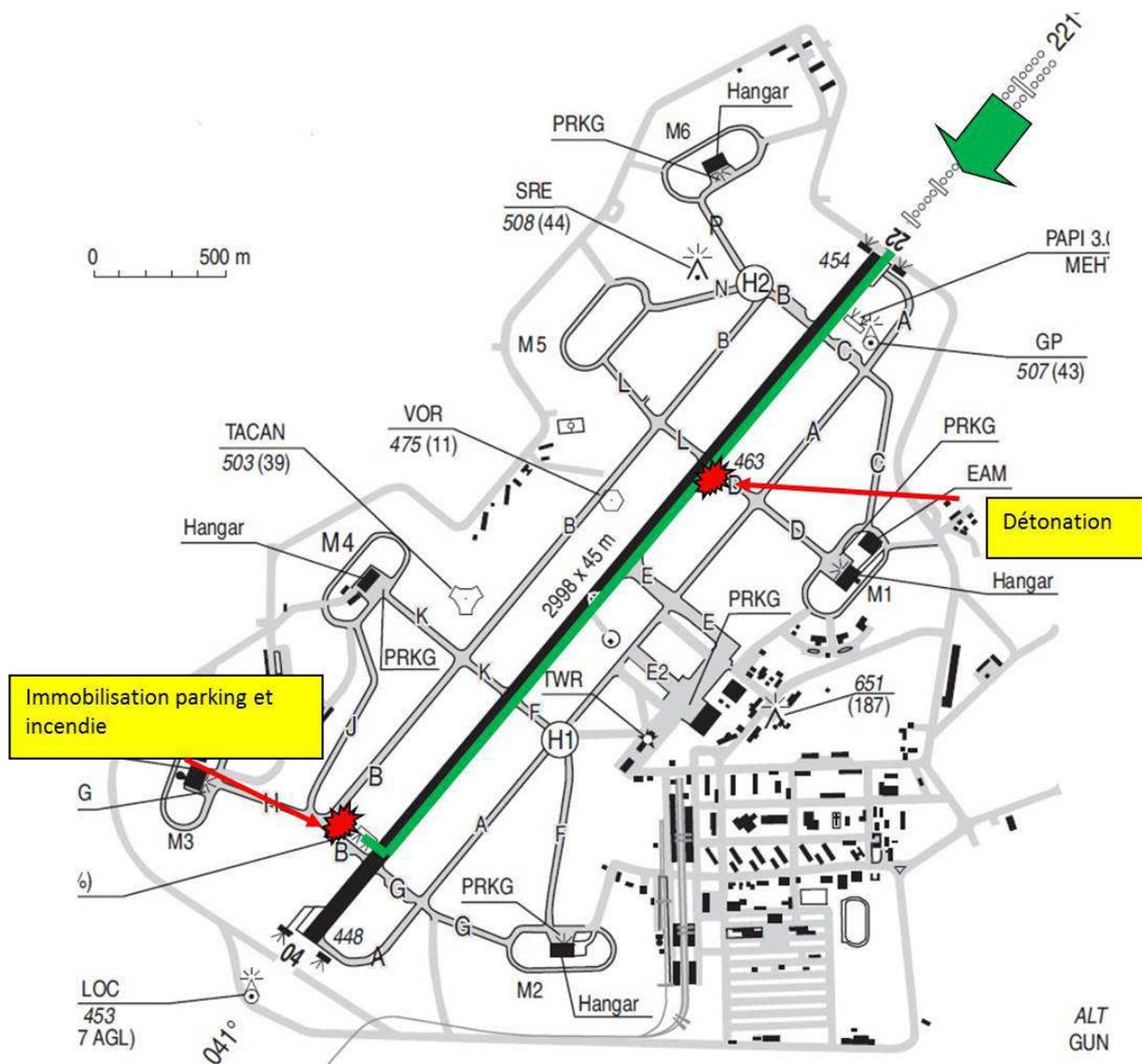
Le mécanicien navigant constate un niveau vibratoire hors norme sur le moteur gauche, l'annonce et suggère la coupure moteur.

Le CDB décide de rejoindre un taxiway. Alors que l'équipage dégage la piste, le mécanicien navigant et le CDB constatent que la température gaz turbine (TGT) du moteur gauche est à 900°C et donc très supérieure à la limite autorisée. Le CDB ordonne la coupure du moteur.

L'avion est immobilisé. L'alarme sonore feu moteur retentit. Le voyant feu du moteur gauche s'allume. Le mécanicien navigant percute le 1^{er} extincteur.

L'équipage constate une TGT inférieure à 400°C. Le voyant feu est éteint. Il ne percute pas le second extincteur. Le CDB ordonne l'évacuation.

L'équipage, indemne, coupe le deuxième moteur puis évacue.



Reconstitution de la trajectoire avion

1.1.3. Localisation

- Lieu :
 - pays : France
 - département : Eure
 - commune : Fauville
 - coordonnées géographiques :
 - N 49°01' E 003°13'
 - altitude du lieu de l'événement : au sol / altitude de 460 ft
- Moment : après-midi

1.2. Tués et blessés

Sans objet

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
C160 R095			x	

1.4. Autres dommages

Aucun

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Commandant de bord

- Age : 38 ans
- Unité d'affectation : ET 01.064 « Béarn »
 - fonction dans l'unité : *type rated examiner* (TRE)
- Formation :
 - qualification : moniteur qualifié « *combat ready* »
 - école de spécialisation : école de l'aviation et du transport (EAT) Avord
 - année de sortie d'école : 2002

- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont C160	sur tout type	dont C160	sur tout type	dont C160
Total (h)	2 800	2 300	70	70	20	20

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur l'aéronef :
 - de jour : 10 février 2015
 - de nuit : 29 janvier 2015
- Carte de circulation aérienne :
 - type : verte
 - date d'expiration : 30 septembre 2015

1.5.1.2. Copilote

- Age : 26 ans
- Unité d'affectation : ET 01.064 « Béarn »
 - fonction dans l'unité : pilote
- Formation :
 - qualification : adaptation en ligne (AEL)
 - école de spécialisation : EAT Avord
 - année de sortie d'école : 2013
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont C160	sur tout type	dont C160	sur tout type	dont C160
Total (h)	858	268	102	102	23	23

- Date du dernier vol comme pilote :
 - sur l'aéronef :
 - de jour : 19 février 2015
 - de nuit : 21 janvier 2015
- Carte de circulation aérienne :
 - type : blanche
 - date d'expiration : 28 février 2015

1.5.1.3. Mécanicien de bord navigant

- Age : 39 ans
- Unité d'affectation : ET 01.064 « Béarn »
 - fonction dans l'unité : Mécanicien confirmé
- Formation :
 - qualification : 145180
 - école de spécialisation : Rochefort
 - année de sortie d'école : 1994
- Heures de vol:

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont C160	sur tout type	dont C160	sur tout type	dont C160
Total (h)	3 816	3 816	186	186	12	12

- Date du dernier vol comme mécanicien navigant :
 - sur l'aéronef :
 - de jour : 17 février 2015
 - de nuit : 17 février 2015

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : armée de l'air
- Commandement organique d'appartenance : CFA/BAAP
- Base aérienne de stationnement : base aérienne 105 d'Evreux
- Unité d'affectation : escadron de soutien technique aéronautique (ESTA) 02.E.064
- Type d'aéronef : TRANSPORT-CARGO
- caractéristiques :

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis	Heures de vol depuis
Cellule	C160	R095	23 294	GV9 : 2 066	VI:52
Moteur 1	TYNE MK 22	9572	6 962	NSI : 455	Dernier passage au banc NSI:52 ²
Moteur 2	TYNE MK 22	9477	12 948	NSI : 735	

² Les heures de point fixe et passage au banc ne sont pas comptabilisées dans les heures de fonctionnement. Le GTP 9572 a effectué un nombre important d'heures de fonctionnement au banc au niveau soutien industriel (NSI) et au point fixe au niveau soutien opérationnel (NSO) sans que celles-ci ne puissent être quantifiées.

1.6.1. Maintenance et historique d'emploi du moteur gauche.

1.6.1.1. Visites d'entretien cellule

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

1.6.1.2. Visite de mise en œuvre

Toutes les visites de mise en œuvre ont été réalisées.

1.6.1.3. Historique de l'entretien du groupe turbopropulseur gauche

Le GTP n°9572 monté en nacelle gauche présente un historique de pannes et problèmes techniques atypiques.

Entretien majeur en 2009

L'entretien majeur est effectué chez l'industriel SNECMA. Le 16 avril 2009 le GTP est délivré aux forces avec un potentiel restant de 2 125h14.

Premiers symptômes de pompage en 2012

Après 403h03 de vol une panne survient en mars 2012. Lors d'une phase de décollage à Djerba l'équipage signale « l'allumage bandeau BF sup à 2,5 – HF 0,8 avec suspicion de pompage ».

Le moteur est déposé et renvoyé chez l'industriel pour recherche de panne par un « essai de lever de doute » au banc d'essai de SNECMA Châtellerault. Durant les 3h40 de passage au banc le phénomène n'est pas reproduit et aucune anomalie n'est observée. Le résultat des performances est conforme à celui de l'essai de réception d'avril 2009. Le GTP est restitué à l'armée de l'air et déclaré bon au service.

Première tentative d'avionnage en octobre 2012

Le GTP est avionné en octobre 2012 à la Réunion sans pouvoir être déclaré apte au vol. L'équipe technique n'arrive pas à régler la vanne de décharge, malgré deux échanges.

Après concertation téléphonique auprès du technicien réparateur « TECH-REP SNECMA », les échanges suivants sont effectués :

- nouvel échange standard de la vanne de décharge ;
- échange standard de la pompe carburant HP ;
- échange standard du limiteur de vitesse ;
- échange standard de la pompe carburant BP.

Malgré ces opérations le réglage de la vanne de décharge demeure impossible.

Le moteur est renvoyé en France et l'industriel propose son assistance pour le réglage du GTP9572 lors de son avionnage.

Le 9 avril 2014 l'endoscopie de la turbine BP2 est effectuée conformément aux prescriptions de l'acte technique n°22 314/DT/ASA/PRA. Aucun défaut n'est constaté.

Seconde tentative d'avionnage en juin 2014

Le réglage de la vanne de décharge est effectué sans difficulté le 19 juin 2014 à Evreux mais le moteur n'est pas déclaré apte au vol³. Le régulateur d'hélice en réglage limite doit être échangé.

Pose sur l'avion C160 n°R095

Le GTP est avionné fin octobre 2014 et déclaré apte au vol sous couvert de contrôles opérés par l'industriel SNECMA⁴.

Il a effectué 52h de vol jusqu'à l'incident.

1.6.2. Performances

Les derniers relevés de point fixe et les vols de contrôle réalisés lors de la visite intermédiaire (VI) ne révèlent pas d'anomalie de performance sur le GTP 9572, tout comme les derniers relevés de vol mécanicien navigant en date du 29 janvier 2015 et du 1 février 2015.

Le matin de l'incident, un premier vol est effectué sur l'aéronef. L'équipage rapporte les éléments suivants :

- « *le couple (du moteur gauche) est apparu à la limite des 8 secondes et le moteur était chaud après. Une diminution systématique du trim carburant a été nécessaire sur les 3 décollages du matin pour maintenir la TGT dans la loi de TGT. (685°C +2.5°C/ 1 000 pieds) ».*
- à la fin de cette mission un point fixe a été effectué par l'équipage pour vérifier le bon fonctionnement du GTP. Ce test ne révèle aucune anomalie et est conforme aux attendus que ce soit en ce qui concerne le couple et la TGT.

Aucune mention dans le document technique de suivi machine (Formules 11) de ces événements n'est rapportée par le CDB.

Le mécanicien de bord du vol de l'incident est sensibilisé par son collègue ayant volé le matin sur la nécessité de surveiller particulièrement le couple moteur. Aucune mention n'est faite quant à une sensibilisation particulière sur le caractère de « *moteur chaud* ».

Lors du premier décollage les performances moteur sont rapportées dans les normes d'utilisation.

1.6.3. Masse et centrage

La masse et le centrage sont dans les normes d'utilisation.

³ Observation à la réduction du régime moteur depuis la position take-off, d'une prise de couple visualisée via un indicateur de pression (d'environ 30 PSI), sur mouvement de manette de puissance lente ou rapide. Ce constat, qui n'a pas été fait au cours des opérations de réglage de la vanne de décharge et de relevés de paramètres montre le caractère aléatoire du phénomène. Le régulateur hélice est jugé déréglé lors du premier point fixe en zone vol, entraînant une retouche du régime décollage dans une amplitude inhabituelle.

⁴ A la repose sur avion, SNECMA participe au réglage de la vanne de décharge et au limiteur de vitesse HP.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : F34
- Quantité de carburant au 1^{er} décollage : 6 T
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : 5,7 T

1.6.5. Autre fluide

L'huile moteur est de type O159.

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Les prévisions prévoient un plafond à 1 000 ft, une visibilité supérieure à 10 km, un vent de secteur 200° pour 15 kt, une température de 8°C et aucun phénomène aérologique remarquable.

1.7.2. Observations

Les observations sont conformes aux prévisions.

1.8. Aides à la navigation

Le vol s'effectue à vue. Les aides à la navigation ne sont pas utilisées.

1.9. Télécommunications

Les moyens de télécommunication embarqués sont sans lien avec l'incident.

1.10. Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet

1.11. Enregistreurs de bord

L'appareil est équipé d'un enregistreur de voix de type *cockpit voice recorder* (CVR) et d'un enregistreur de paramètres de type *flight data recorder* (FDR).

L'enregistreur de paramètres est d'une ancienne génération et n'enregistre que six paramètres exploitables avec une faible précision (enregistrement sur papier photographique). Aucun paramètre moteur n'est enregistré.

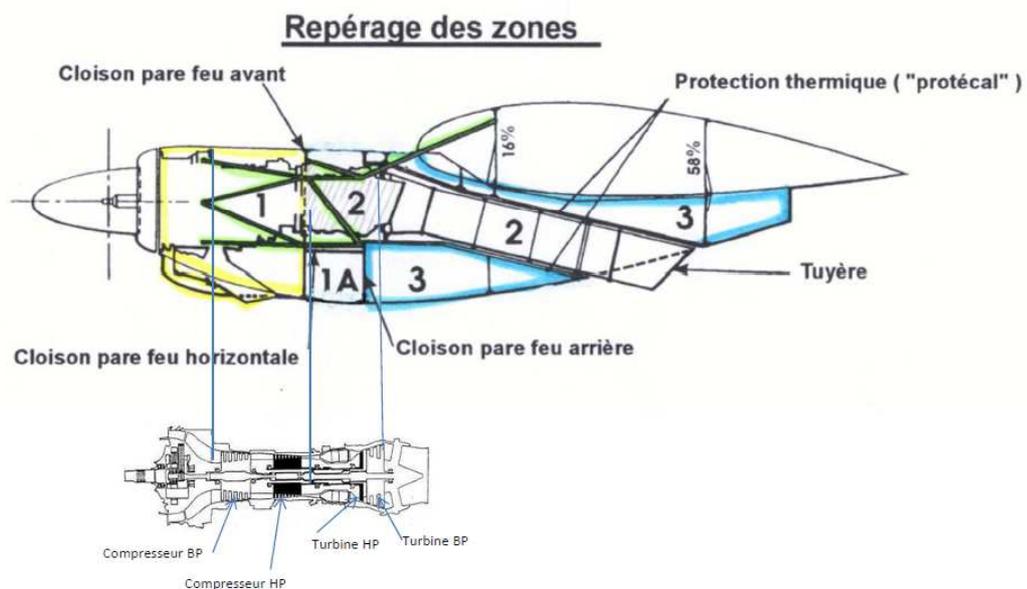
1.12. Renseignements sur l'aéronef

Les dommages se concentrent sur le moteur gauche et son compartiment.



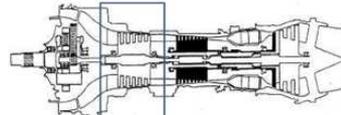
Vue d'ensemble côté gauche

Extérieurement, les dégâts sont quasiment imperceptibles. Il n'existe pas de perforation visible.



Situation du GTP sur l'avion

Compresseur BP



-Aubes d'entrée: RAS

-Etage CBP 0: Impacts en BF avec déchirures



Etage CBP5: ensemble des ailettes détériorées, rupture mi pales de toutes les ailettes. Nombreux morceaux présents sous la grille de la vanne de décharge

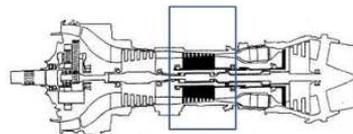


Sortie CBP: Impacts avec présence de morceaux d'ailettes.



Constatations sur le compresseur basse pression

Compresseur HP



Entrée CHP:
Détériorations avec ruptures et déchirures



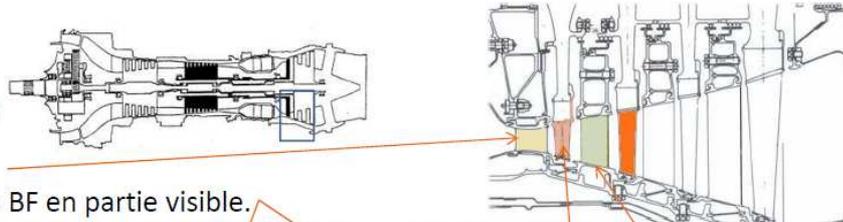
Compresseur HP 1:
Rupture de l'ensemble des aubes au 1/3 de leur pied.



Constatations sur le compresseur haute pression

Turbines Distributions

Distribution HP:
Dégradation des BF en partie visible.



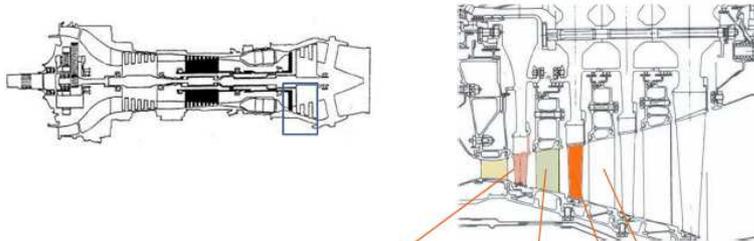
Turbine HP: ruptures des ailettes, disparition de 2/3 de la pale (extrados) (intrados)

Distribution BP1: Reste des plateformes extérieures.
Reste des plateformes intérieures



Constatations sur les Turbines distributions

Distributions Turbines



Turbine HP:
Distribution BP1:

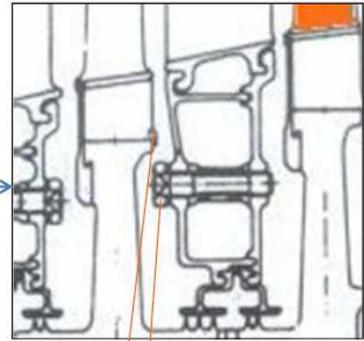
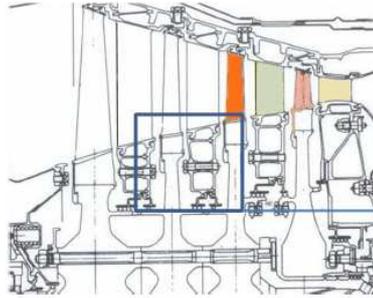
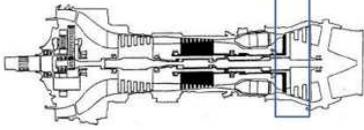
Turbine BP1: ruptures des ailettes, disparition de 2/3 de la pale

Distribution BP2: ruptures des ailettes, disparition de 2/3 de la pale



Constatations sur les distributions turbines

Distributions



Turbine BP2:

Pas de constat d'usure au niveau des BA et talons de retenue des pieds d'ailettes de la turbine BP2.

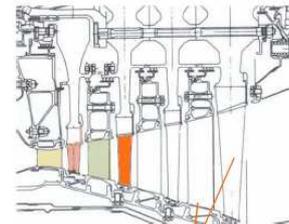
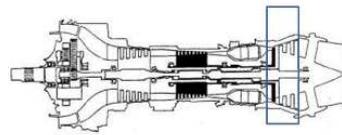
Distribution BP2:

Pas de constat d'usure ni de dégradation au niveau des plateaux de distribution BP2.



Constatations sur les distributions

Distributions Turbine BP3



Turbine BP3:

Rupture des aubes au 2/3 de la pale

Distribution BP3:

Plateformes extérieures détériorées et fondues



Constatations sur l'étage distribution turbine BP3

Des débris projetés sur la piste ont été ramassés par la balayeuse.



Débris provenant du moteur

Le GTP est bloqué en rotation.

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 : CEMP
 - date : 31 août 2014
 - résultat : Apte
 - validité : 31 août 2015
- Examens biologiques : non effectués

1.13.1.2. Copilote

- Dernier examen médical :
 - type : CEMP
 - date : 31 mars 2014
 - résultat : Apte
 - validité : 31 mars 2015
- Examens biologiques : non effectués

1.13.1.3. Mécanicien de bord naviguant.

- Dernier examen médical :
 - type : CEMPN
 - date : 27 mars 2014
 - résultat : Apte
 - validité : 27 mars 2016
- Examens biologiques : non effectués

1.14. Incendie

L'allumage du voyant feu se produit alors que l'aéronef dégage la piste.

La procédure *Feu moteur* est appliquée. Le mécanicien navigant percute un extincteur sur les deux disponibles. Il estime au vu des paramètres que le feu est circonscrit. L'avion est évacué sans que le deuxième extincteur du moteur gauche ne soit percuté.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1. Evacuation de l'aéronef

L'évacuation est effectuée sur le taxiway après coupures des moteurs.

1.15.2. Organisation des secours

Le déclenchement des secours est effectué à 14h59 par la tour de contrôle. Cinq véhicules sont engagés par l'escadron de secours et d'incendie. Ils sont accompagnés du centre médical des armées de la base aérienne.

Arrivés sur les lieux, les pompiers constatent que des fumées se dégagent du moteur gauche. Ils procèdent alors à une injection de CO₂ dans le compartiment moteur gauche et vérifient à l'aide d'une caméra thermique que le feu est circonscrit.

L'aéronef est ramené au parking avion par tractage.

1.16. Essais et recherches

Sans objet.

1.17. Renseignements sur les organismes

Sans objet.

1.18. Renseignements supplémentaires

Sans objet.

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Sans objet.

2. ANALYSE

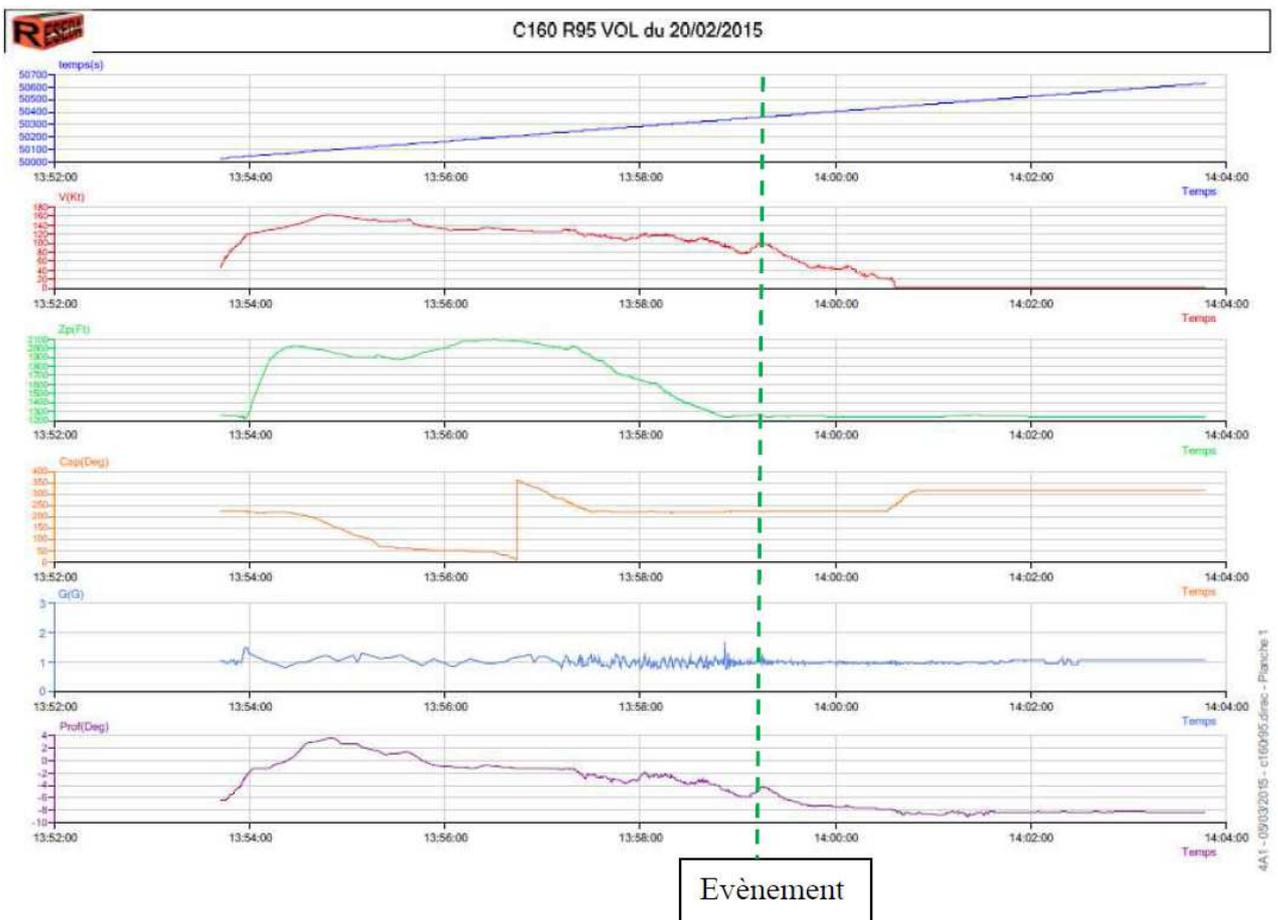
L'incident est une dégradation de la veine d'air contenue au moteur gauche qui entraîne une perte de poussée et une interruption du redécollage suivie d'un départ d'incendie maîtrisé.

L'analyse qui suit est fondée sur l'exploitation des témoignages et des données des enregistreurs CVR et FDR. Elle se décompose en trois parties. La première résume les résultats actuels des différentes expertises. La seconde a pour objet de reconstituer le scénario probable de l'événement. La troisième consiste à identifier les causes possibles de cet incident.

2.1. Expertises

2.1.1. Extraction et exploitation des données du CVR et du FDR

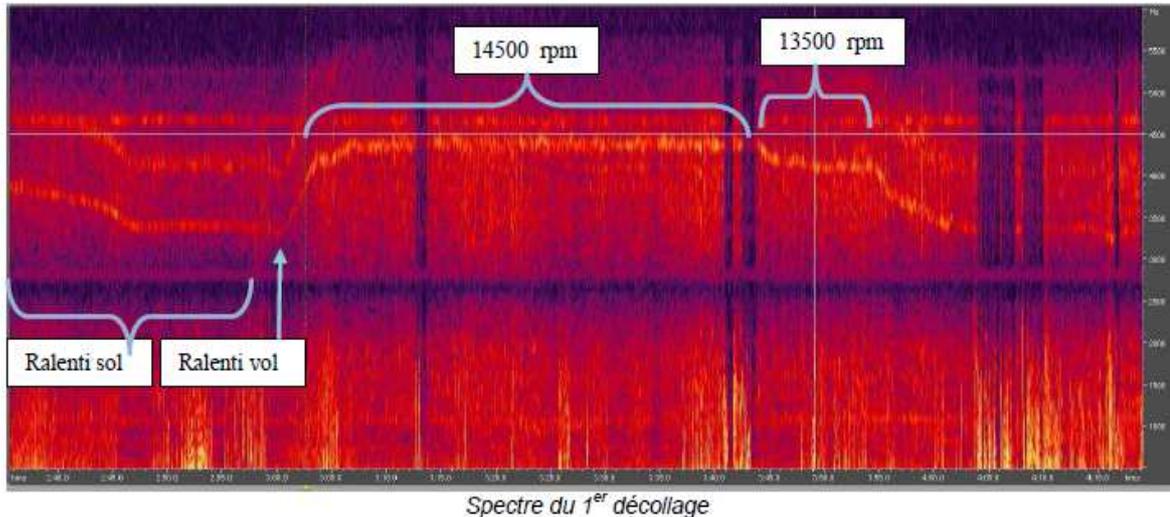
Le FDR fournit l'enregistrement de six paramètres et ne permet pas d'analyser le fonctionnement du GTP. Il permet uniquement de situer l'événement.



Extraction du CVR

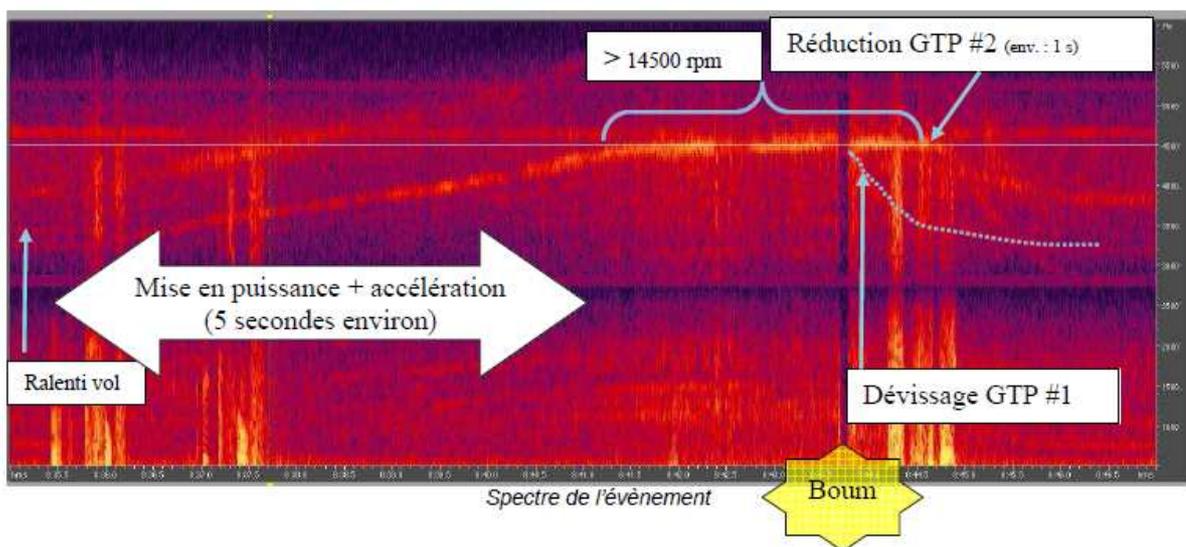
En revanche l'analyse des fréquences sonores de l'enregistrement du CVR a permis la reconstitution de l'événement.

Les résultats confirment le témoignage de l'équipage



Analyse spectrale sonore du CVR lors du 1^{er} décollage

La comparaison du premier et du second décollage montre des régimes similaires en sollicitation. Au cours de la remise en puissance à 14 500 tr/min une forte détonation suivie d'un dévissage du moteur gauche est observée.



Spectre de l'évènement

L'équipage est confronté à une explosion suivie d'un dévissage du moteur gauche au régime de 14 500 tr/min. Ensuite le GTP fonctionne 71 secondes à 10 000 tr/min avant l'arrêt par l'équipage.

2.1.2. Analyse des fluides

Les premiers résultats montrent :

- que le carburateur est de type F34 sans pollution notable ;
- que les trois prélèvements d'huile du GTP gauche sont de type O 159 sans pollution ni mélange mais présentent une teneur en eau élevée. De même l'indice d'acide est limite mais acceptable.

L'huile du moteur gauche présente une teneur en eau de 410 ppm. Cette teneur est dans les tolérances hautes (500 ppm).

2.1.3. Expertises moteur

Les premiers points d'avancement dressent le constat suivant :

- Examen général du GTP :
 - Présence d'une poussière fine de couleur blanche sur les lèvres d'entrée d'air ;
 - présence d'une poussière fine de couleur ocre sur la partie supérieure de la zone 2 (Chambre de combustion et turbine) ;
 - vanne de décharge partiellement ouverte et obstruée par des débris. Elle se débloque après la dépose des grilles et le retrait des débris. ;
 - suite à la dépose des équipements, une perforation du carter compresseur au droit de la roue mobile du compresseur BP1 est observée ;
 - un endommagement mécanique est identifié sur le 1er étage compresseur ;
 - au niveau de la chambre de combustion, les injecteurs et les tubes à flamme sont recouverts d'un dépôt de type aluminisation ;
 - au niveau de la turbine les endommagements constatés sont liés à une surchauffe ;
 - contrairement aux derniers cas rencontrés sur la flotte depuis 2012, aucun contact entre les vis de distributeur BP2 et la turbine BP2 n'est identifié ; de même aucune obstruction du circuit de refroidissement du distributeur de turbine BP2 n'est constatée.

- Examen approfondi des compresseurs BP et HP :

• Compresseur BP :



Vue générale des parties mobiles du compresseur BP après démontage

- **Rotor BP0** : Seuls les bords de fuites sont endommagés ;
- **Stator BP0** : les aubages sont plus fortement endommagés en bord de fuite qu'en bord d'attaque ;
- **Rotor BP1** : sur les 29 aubes 6 sont absentes (n°8, 9, 10, 13, 14, 15). Les douilles de fixation sont en place. Deux aubes sont en cours d'arrachement (pieds d'aube cassés). Les autres sont fléchies dans le sens inverse de rotation ;
- **Stator BP1** : en cours d'analyse ;
- **Rotor BP2** : l'ensemble des plateformes des aubes est présent. Les aubes sont rompues au niveau de leur congé deraccordement sur la plateforme. Aucun faciès de cassure n'est exploitable
- **Stator BP2** : déformations et impacts ;
- **Rotor BP3** : l'ensemble des aubes est rompu entre 15 et 20% de la hauteur de pale. Elles sont toutes fléchies dans le sens inverse de la rotation ;
- **Stator BP3** : déformations et impacts ;
- **Rotor BP4** : aubes sectionné à environ 25% de la hauteur de pale, et fléchié dans le sens inverse de la rotation ;
- **Stator BP4** : déformations et impacts (+ faible que sur les étages précédents)
- **Rotor BP5** : aubes sectionné à environ 25% à 50% de la hauteur de pale et fléchies dans le sens inverse de la rotation.

- Compresseur HP :

Toutes les aubes sont présentes. Les endommagements sont de moins en moins importants au fur et à mesure de l'écoulement du flux. Toutes les aubes sont recouvertes d'un dépôt de type « aluminisation ». Les pales sont fléchies dans le sens inverse de rotation.



Vue générale des parties mobiles du compresseur HP après démontage

Les premiers résultats montrent la présence de poussières dans le moteur. Ils confirment le blocage de la vanne de décharge et la forte dégradation du GTP dont l'origine se trouve dans l'environnement du rotor du premier étage du compresseur BP.

Une grande majorité des aubages est fléchié dans le sens inverse de la rotation. Ce cas diffère de ceux traités par l'acte technique n°22314/DT/ASA/PRA du 03 mars 2014 qui recense soixante moteurs Tyne à endoscooper et à surveiller. Ce moteur fait partie de cette liste et était surveillé.

2.1.4. Expertise de l'hélice sur site

Les investigations permettent de conclure que :

- les intrados des quatre pales encore montées sur le moyeu sont localement recouverts d'un dépôt de couleur blanche dans la zone proche du moyeu ;
- l'extrados de la pale 4 présente aussi ce dépôt en partie basse et coté bord de fuite.

Ce même dépôt est aussi présent sur l'entrée d'air du GTP Tyne 22 n° 9572.

Lors de l'événement, le GTP s'est endommagé mécaniquement et a libéré de fines particules métalliques par l'entrée d'air (phénomène de « pompage »).

Les relevés réalisés sur le jeu des 4 pales et les tests réalisés permettent de déterminer que le calage des pales à la station de référence était d'environ 21°. Les données théoriques fournies par la société Ratier-Figeac montrent que le calage pour le point de vol se situe entre 20,82° (15 250 RPM) et 21,81° (14 500 RPM).

Au moment de l'événement, les 4 pales de l'hélice étaient correctement calées. Le moteur devait délivrer la puissance attendue.

2.2. Scénario possible de l'incident

L'analyse du CVR permet d'établir le séquençage suivant :

Temps enregistreur	To (événement)	Phase du vol
03min00s	To - 5min43s	Le 1 ^{er} décollage est réalisé au régime de 14500 RPM sur les deux moteurs (fréquence inférieure à 4500 Hz)
08min35s	To - 8 s	Le posé-décollé est réalisé à un régime supérieur à 14500 RPM (fréquence supérieure à 4500 Hz vraisemblablement de 15250 RPM) avec une accélération normale du moteur en 5 secondes
08min43,5s	To	« BOUM » + Dévissage d'un des moteurs (Vitesse < Vitesse de rotation)
08min44,5s	To + 1 s	Réduction du deuxième moteur par l'équipage
09min10s	To + 26s	Perte des génératrices
09min31s	To + 48s	Relance des génératrices suite à perte de l'alimentation électrique
09min54s	To + 1min 11s	Action d'arrêt du GTP gauche
10min32s	To + 1min 49s	Alarme Feu GTP gauche
10min58s	To + 2min 16s	Action d'arrêt du GTP droit et décision d'évacuation.

Tableau synthétique de l'événement

2.3. Recherche des causes de l'incident

2.3.1. Causes environnementales

Conditions exogènes au GTP le jour de l'incident

Les conditions aérologiques, de température et de luminosité ambiantes étaient compatibles avec ce type de vol. Aucune collision volatile ou absorption de corps étranger n'est en relation avec cet accident.

Les conditions environnementales réunies le jour de l'accident ne sont pas à l'origine de cet accident.

2.3.2. Causes techniques

2.3.2.1. Système avion

Les enregistrements, les examens effectués sur l'avion et la documentation montrent que la cellule ne présentait pas d'anomalie ou de défaillance de ses systèmes et de ses commandes de vol.

Les systèmes avion ne sont pas à l'origine de cet accident.

2.3.2.2. Groupe turbo propulseur

Historique du moteur Tyne n°9572

Depuis sa dernière sortie d'entretien majeur chez l'industriel, le moteur Tyne 9572 a un historique de mise en œuvre chaotique. Sa déclaration d'aptitude au vol a souvent été entravée par une impossibilité de mise au point conduisant à un retour chez l'industriel ou l'intervention de ce dernier. Il a notamment rencontré des problèmes de réglages des vannes de décharge. En cas de dysfonctionnement, ces vannes peuvent conduire à des phénomènes de pompage. En 2012 ce moteur a présenté des symptômes de pompage et a été déposé.

L'incident survient sur un moteur atypique dont la remise en service a été plusieurs fois suspendue pour des problèmes de mise au point et de réglages de vanne de décharge. En 2012, il a été déposé pour suspicion de pompage et présentait des symptômes identiques à ceux observés par l'équipage.

2.3.3. Domaine relevant des facteurs humains et organisationnels

L'analyse des facteurs humains s'inspire du modèle dit « de conscience de la situation » d'Endsley⁵. Elle étudie la perception de la situation par l'équipage, sa représentation construite et sa capacité à se projeter dans le futur.

⁵ « *Situation awareness is the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning and a projection of their status in the near future* » (Endsley, 1988).

2.3.3.1. Indices perçus par l'équipage

Quatre symptômes successifs sont perçus et relevés par l'équipage :

- une détonation assortie d'un flash lumineux ;
- un niveau vibratoire hors norme sur le GTP gauche (indicateur lu à 3.5) ;
- une TGT anormalement élevée sur le même moteur indicateur en butée à 900°C ;
- une alarme feu du moteur gauche.

2.3.3.2. Conscience de la situation

L'incident survient lors de la phase de roulage, avant redécollage et avant V1. Le posé-décollé est une phase dense, qui demande une maîtrise dans chacun des domaines de la conduite du Transall. La mécanisation des procédures normales est primordiale. En cas d'incident durant l'accélération l'équipage n'a que très peu de temps pour analyser, prendre une décision et ordonner une action qui permettra de traiter la panne.

La panne survient dans une phase critique.

L'enchaînement des symptômes sur une courte durée conduit aux déclenchements d'actions réflexes et de check-lists en chaînes :

- interruption de décollage par application de la procédure « Stop arrêt » ;
- coupure du moteur gauche et application différée et non standard de la procédure « Arrêt moteur » ordonnée par le commandant de bord ;
- traitement du feu moteur gauche par application de la procédure « Feu moteur gauche » par percussion d'un extincteur sur les deux disponibles ;
- abandon de bord suite à l'ordre « procédure évacuation » du commandant de bord après immobilisation de l'aéronef hors-piste.

L'ensemble de ces actions se déroulent sur une durée légèrement supérieure à deux minutes.

L'équipage confronté à l'événement met en œuvre les procédures standardisées et enchaîne les check-lists.

2.3.3.3. Surcharge cognitive

La surcharge de travail qui en résulte entraîne une baisse de la qualité des communications et de la synergie de l'équipage. A titre d'exemple :

- la communication intra-équipage n'est pas conforme à la phraséologie standardisée par le référentiel de travail en équipage ;
- les comptes rendus de fin d'actions réflexes sont systématiquement omis ;
- les comptes rendus de fin d'exécutions de check-lists ne sont jamais annoncés.

La grande expérience du tandem CDB / mécanicien-naviguant a pu combler les non-dits et maintenir l'efficacité de l'équipage.

Malgré une augmentation de la charge de travail, l'enchaînement des actions conduites est conforme aux procédures pour le traitement des symptômes apparus et l'ordre de traitement est cohérent. La synergie et la prise en compte des échanges sont de moindre efficacité.

2.3.3.4. Décision de coupure du moteur gauche

A la perception par l'équipage de la détonation, le CDB ordonne quasiment instantanément l'ordre de « Stop arrêt ». Le PF réduit les gaz dans la foulée.

Pendant ce temps, le mécanicien navigant constate une indication de vibrations largement supérieure à la limite critique. A la réduction des gaz, ce régime vibratoire revient dans les normes acceptables. Dans ce cas, en vol, la check-list prévoit de conserver le moteur en fonctionnement. En effet il est toujours préférable de conserver une traction résiduelle sur un moteur qui vibre plutôt que de le couper et se trouver définitivement privé de son apport. Au roulage cette action n'est plus adaptée.

Le mécanicien navigant propose au CDB de couper le moteur gauche dix secondes après la détonation. Accaparé par les tâches propres au « Stop Arrêt », ce dernier n'entend pas la suggestion du mécanicien-navigant. A ce moment il est vital de garder l'axe de la piste. Cette charge de travail est importante pour le pilote à l'instruction et le moniteur.

Le commandant de bord ne retient pas la suggestion du mécanicien-navigant de couper immédiatement le moteur gauche.

Cinquante secondes après avoir débuté le bilan des symptômes et géré les événements subis, le CDB donne finalement l'ordre d'arrêter le moteur gauche. Le mécanicien-navigant temporise l'action, souhaitant réarmer en priorité les générateurs du moteur droit qui ont disjoncté à la réduction des gaz. Ce faisant, il oublie sa recommandation initiale de coupure moteur immédiate. Son but, non verbalisé au moment des faits, était d'éviter tout risque de se retrouver en panne électrique totale. Le CDB y consent en ne s'y opposant pas. L'avion est toujours en réduction de vitesse avec un travail de maintien de l'axe de piste qui est difficile dû à la dissymétrie de puissance.

A son tour pris dans la réaction face à l'incident et ses enchaînements prioritaires le mécanicien navigant retarde la coupure du moteur gauche.

L'équipage poursuit le bilan entamé jusqu'au moment où il constate une TGT à 900°C. Le moteur est finalement coupé 70 secondes après la détonation. Le feu moteur se déclare après 1min 50s.

L'équipage traite le feu moteur au sol conformément à la check-list.

PAS DE TEXTE

3. CONCLUSION

3.1. Eléments établis utiles à la compréhension de l'événement

L'incident survient lors d'un poser-redécoller à la remise en puissance. L'accélération s'effectue sur 5 secondes.

Au passage du régime de 14 500 tr/min le moteur gauche détonne puis dévise.

La vitesse V1 n'étant pas atteinte le CDB ordonne l'interruption de décollage.

La synergie dans la communication équipage et la prise en compte des échanges sont peu efficaces.

Le GTP fonctionne 71 secondes à 10 000 tr/min avant l'arrêt par l'équipage.

L'incident survient sur un moteur atypique dont la remise en service a été plusieurs fois suspendue pour des problèmes de mise au point et de réglages de vanne de décharge.

En 2012 il a été déposé pour suspicion de pompage et présentait des symptômes identiques à ceux observés par l'équipage.

Suite à plusieurs avaries sur la flotte des moteurs Tynes, ce moteur figure sur la liste définie dans l'acte technique n°22314/DT/ASA/PRA du 3 mars 2014.

Comme requis, une endoscopie avait été effectuée le 9 avril 2014 et n'avait révélé aucun défaut.

Lors du démontage du moteur la présence de poussières est constatée à de nombreux emplacements.

La vanne de décharge est obstruée et bloquée par des débris.

Le GTP a subi une forte dégradation (accompagnée d'un phénomène de pompage) qui trouve son origine dans l'environnement du rotor du compresseur BP étage 1 (BP1).

Le feu déclaré a été maîtrisé.

3.2. Nature de l'événement

L'incident est limité au moteur et à son enveloppe. Contrairement aux cas précédents, aucun contact entre les vis de distributeur BP2 et la turbine BP2 n'est identifié. De même aucune obstruction du circuit de refroidissement du distributeur de turbine BP2 n'est constatée.

Il s'agit donc d'un fait technique qui peut donc désormais être suivi par la DGA autorité technique pour la suite des expertises. Il trouve son origine au niveau du rotor du compresseur BP1. Il s'accompagne d'une obstruction de la vanne de décharge et d'un pompage.

3.3. Poursuite des travaux d'analyse approuvés par le BEAD-air

A ce titre les travaux suivants ont été décidés et doivent être menés à terme :

- au sein de Snecma :
 - examen métallurgique du rotor du premier étage du compresseur BP (23 aubes + 6 pieds retrouvés dans les débris + disque) - Site de Villaroche, après contact préalable avec DGA EP (laboratoire métallurgique) ;
 - rechercher l'historique des 29 aubes et du disque BP1 ;
 - faire le bilan des cas de rupture de chapes d'ailettes de compresseur basse pression et des cas d'« ailettes fantômes » (constats au NTI3 de l'absence d'ailettes de compresseur, sans qu'aucun constat n'ait été fait en exploitation).
 - suite à l'inventaire et aux constats, proposer un test en l'état des systèmes/équipement participant au :
 - système de la vanne de décharge ;
 - système de dégivrage.
- au sein de DGA EP :
 - réalisation des analyses dépôts et fluides collectés lors du démontage (sélection des analyses pertinentes à réaliser) ;

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

Lors des premières expertises des poussières sont découvertes dans le GTP. Elles ont été prélevées pour analyse.

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

La direction générale de l'armement, en relation avec l'armée de l'air et le constructeur SNECMA de poursuivre les analyses en vue de déterminer l'origine et l'influence de ces poussières sur le fonctionnement du GTP Tynes.

Les premières expertises établissent que l'origine de l'incident du GTP se trouvent dans l'environnement du rotor du premier étage du compresseur BP.

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

La direction générale de l'armement, en relation avec le constructeur SNECMA de poursuivre les analyses en vue de déterminer le scénario précis de dégradation du GTP Tynes n°9572, en s'appuyant sur les travaux mentionnés au paragraphe 3.3 et de tenir informé le BEAD-air des résultats finaux.

Dans la conduite de l'action la synergie équipage s'est effacée devant l'enchaînement des procédures :

- la communication intra-équipage n'est pas conforme à la phraséologie standardisée par le référentiel de travail en équipage ;
- les comptes rendus de fin d'actions réflexes sont systématiquement omis ;
- les comptes rendus de fin d'exécutions de check-lists ne sont jamais annoncés.

La grande expérience du tandem CDB / Mécanicien-navigant a pu combler les non-dits et maintenir l'efficacité de l'équipage.

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

L'armée de l'air en relation avec l'IRBA de diffuser et de commenter ce rapport puis de l'intégrer au cours de rafraîchissement *crew resource management*.

4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement

Néant.