



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE LA DÉFENSE
ET DES ANCIENS COMBATTANTS

BEAD-air

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT D'ENQUÊTE TECHNIQUE



BEAD-air-A-2010-013-I

Date de l'événement	23 Août 2010
Lieu	Septfonds (Tarn et Garonne)
Type d'appareil	TB 30 Epsilon
Immatriculation	315 XT
Organisme	Commandement des écoles de l'armée de l'air
Unité	École de pilotage de l'armée de l'air 00.315

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 certaines ou possibles. Enfin, dans le dernier chapitre, des propositions en matière de prévention sont présentées.

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

UTILISATION DU RAPPORT

L'objectif du rapport d'enquête technique est d'identifier les causes de l'événement et de formuler des recommandations de sécurité. En conséquence, l'utilisation de la deuxième partie de ce rapport et des suivantes à d'autres fins que celle de la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS

Page de garde : Sirpa Air

Schéma :

Page 15 : documentation technique TB30

Pages 18 et 23 : BEAD-air

Photos :

Page 8 : BEAD-air

Illustrations :

Pages 12 et 21 : Google

Pages 13, 17 et 19 : BEAD-air

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	2
CREDIT PHOTOS ET ILLUSTRATIONS	2
TABLE DES MATIERES	3
GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS	5
1. Renseignements de base	6
1.1. Déroulement du vol	6
1.2. Tués et blessés	7
1.3. Dommages à l'aéronef	7
1.4. Autres dommages	8
1.5. Renseignements sur le personnel	8
1.6. Renseignements sur l'aéronef	9
1.7. Conditions météorologiques	11
1.8. Aides à la navigation	11
1.9. Télécommunications	11
1.10. Renseignements sur l'aérodrome	12
1.11. Enregistreurs de bord	12
1.12. Constats sur l'aéronef	13
1.13. Renseignements médicaux et pathologiques	13
1.14. Incendie	13
1.15. Questions relatives à la survie des occupants	14
1.16. Essais et recherches	14
1.17. Renseignements sur les organismes	14
1.18. Renseignements supplémentaires	14
1.19. Techniques spécifiques d'enquête	14
2. Analyse	15
2.1. Principe du système d'injection carburant	15
2.2. Historique	16
2.3. Recherche des causes de la dégradation soudaine des performances du moteur	16
2.4. Recherche des causes de la rupture de la tuyauterie	17
2.5. Gestion de l'événement	20
3. Conclusion	24
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'événement	24
3.2. Causes de l'événement	24
4. Recommandations de sécurité	25
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'événement	25
4.2. Mesures de prévention n'ayant pas trait directement à l'événement	25

GLOSSAIRE

BA	Base aérienne
BMR	Bureau maîtrise des risques
CAG	Circulation aérienne générale
CEAA	Commandement des écoles de l'armée de l'air
CFIP	Centre de formation des instructeurs pilote
CPSV	Consignes permanentes de sécurité des vols
DGA	Direction générale de l'armement
DGAC	Direction générale de l'aviation civile
DRHAA	Direction des ressources humaines de l'armée de l'air
EIV	Escadron d'instruction en vol
EPAA	École de pilotage de l'armée de l'air
EPI	Enquêteur de premières informations
FDR	<i>Flight data recorder</i> - Enregistreur d'accident
FH	<i>Flight hours</i> – Heures de fonctionnement du moteur
ft	<i>Foot</i> - Pied : unité de mesure de la hauteur
GTM	Groupe turbo-moteur
hPa	Hectopascal : unité de mesure de pression
kt	<i>Knot</i> – Nœud : unité de mesure de la vitesse
MHz	Mégahertz : unité de mesure des fréquences
RESEDA	Centre de restitution des enregistreurs d'accidents
SB	Service bulletin
TACAN	<i>Tactical navigation</i> - Moyen de radionavigation (azimut/distance)
VCM	Visite complémentaire moteur
VHF	<i>Very high frequency</i> – Gamme de fréquence radio
VI	Visite intermédiaire
VIM	Visite intermédiaire moteur
VOR	<i>VHF omnidirectional range</i> ; moyen de radionavigation (azimut)
VORTEX	Base de données de retour d'expériences aéronautiques de l'armée de l'air

SYNOPSIS

Date et heure de l'événement : 23 août 2010 à 10 h 23.

Lieu de l'événement : Septfonds (Tarn et Garonne).

Organisme : armée de l'air.

Commandement organique : direction des ressources humaines de l'armée de l'air (DRHAA).

Unité : école de pilotage de l'armée de l'air (EPAA) 00.315.

Aéronef : Socata TB 30 Epsilon.

Nature du vol : navigation basse altitude.

Nombre de personnes à bord : 2.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

L'équipage d'un Epsilon de la base de Cognac, en mission de navigation basse altitude dans la région de Cahors, perçoit un raté moteur suivi de fortes vibrations. Il décide de se dérouter vers le terrain de Cahors. Constatant une perte de puissance et une augmentation des vibrations, alors qu'il survole la piste de Septfonds, l'équipage décide d'atterrir au plus vite. A l'atterrissage, les pneumatiques du train principal éclatent. L'appareil s'immobilise sur la piste. L'équipage est indemne.

Composition du groupe d'enquête technique

- un directeur d'enquête technique du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD-air)
- un enquêteur de première information (EPI)
- un officier pilote ayant une expertise sur TB 30 Epsilon
- un officier mécanicien ayant une expertise sur TB 30 Epsilon
- un médecin du personnel navigant

Autres experts consultés

- direction générale de l'armement essais propulseurs
- département de restitution des enregistreurs d'accident (RESEDA)

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD-air a été alerté par le bureau de sécurité des vols de l'armée de l'air le jour de l'incident, l'enquêteur de première information mandaté par le BEAD-air a rejoint le site de Septfonds. Il a été rejoint le lendemain par l'expert mécanicien.

Les investigations ont pu être conduites dès que les autorités judiciaires ont levé les scellés préalablement posés.

Enquête judiciaire

L'enquête judiciaire ouverte par le parquet du tribunal de Toulouse a fait l'objet d'un classement sans suite.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Indicatif mission : FAF 6546

Type de vol : CAG

Type de mission : vol d'instruction en navigation basse altitude

Dernier point de départ : base aérienne de Cognac

Heure de départ : 09 h 15

Point d'atterrissage prévu : Mende

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

Il s'agit d'une mission d'instruction comportant une navigation triangulaire avec poser sur terrain extérieur. Cette mission fait partie du cursus de formation des élèves pilotes de l'école de pilotage de l'armée de l'air.

Le briefing mission a été réalisé conformément à la méthode en vigueur au sein de l'école.

Au cours de ce briefing, tous les éléments liés à la trajectoire et à la météorologie ont été étudiés par l'équipage.

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

Après 45 minutes de vol, l'appareil survole la ville de Cahors. En raison de l'évitement de zones de nuages de basse couche, il se trouve alors un peu au nord de la route préparée sur la carte de navigation. L'équipage valide la position sur la carte et décide de contourner le champ de tir de Caylus avant de reprendre un cap sud vers le trajet prévu.

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

Alors que l'appareil vole à l'altitude de 1600 ft, à la vitesse indiquée de 183 kt à sans action sur les commandes moteur, les pilotes ressentent un à-coup de la puissance moteur suivi de fortes vibrations. Ils vérifient les paramètres moteur sans détecter de problème particulier. Les vibrations ressenties restant fortes, l'équipage applique la procédure liée à la liste de vérification « vibrations moteur » sans que cela n'apporte d'amélioration. L'équipage décide, dans un premier temps, de se dérouter vers le terrain d'Albi en maintenant l'altitude, mais constatant une dégradation des conditions météorologiques sur la route vers Albi, il choisit de revenir vers le terrain de Cahors. Quelques minutes après avoir mis le cap sur Cahors, l'Epsilon survole le terrain de Septfonds que l'équipage identifie tout en maintenant sa route vers Cahors.

C'est à ce moment que le pilote moniteur détecte une diminution sensible de la vitesse. Il prend alors la décision de se poser immédiatement sur le terrain de Septfonds. Lors de la sortie du train d'atterrissage, une forte odeur de carburant emplit la cabine de pilotage. Le pilote garde de la vitesse pour poser l'appareil au plus tôt. Dès le toucher des roues, il applique le freinage maximum et parvient malgré l'éclatement des pneumatiques du train principal à maintenir l'axe de piste jusqu'à l'arrêt complet de l'appareil.

1.1.3. Localisation

- pays : France
- département : Tarn et Garonne
- commune : Septfonds
- moment : fin de matinée

1.2. Tués et blessés

Néant

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

1.3. Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
				X

La structure de l'aéronef n'a pas subi de dommages au cours de cet événement. L'appareil s'est arrêté sur la piste avec les pneus du train principal éclatés.



Epsilon n° 103 sur la piste de Septfonds

1.4. Autres dommages

Néant.

1.5. Renseignements sur le personnel

1.5.1. Membres d'équipage de conduite

1.5.1.1. Commandant de bord

- unité d'affectation : 2ème escadron d'instruction en vol de l'école de pilotage de l'armée de l'air 00.315
 - fonction dans l'unité : instructeur pilote
- formation :
 - qualification : chef moniteur depuis juin 1998
 - école de spécialisation : école de l'aviation de chasse 00.314
 - année de sortie d'école : 1990
- heures de vol comme pilote :

	Total		Dans les 30 derniers jours
	sur tous types	dont sur TB30	dont sur TB30
Total (h)	5405	3835	37
Dont nuit	230	190	0
Dont VSV	410	370	1

1.5.1.2. Autres membres d'équipage : le pilote

- unité d'affectation : 2^{ème} escadron d'instruction en vol de l'école de pilotage de l'armée de l'air 00.315
- fonction dans l'unité : élève pilote
- formation : en cours
- heures de vol comme pilote :

	Total		Dans les 30 derniers jours
	sur tous types	dont sur TB30	dont sur TB30
Total (h)	125	49	15
Dont nuit	6	1	1
Dont VSV	12	4	0

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- organisme : armée de l'air
- commandement organique d'appartenance : direction des ressources humaines de l'armée de l'air (DRHAA)
- base aérienne de stationnement : base aérienne 709 Cognac
- unité d'affectation : école de pilotage de l'armée de l'air 00.315
- type d'aéronef : le TB-30 Epsilon, de conception entièrement métallique, est un monoplan biplace en tandem, équipé d'un unique moteur à pistons : 1 Lycoming AEIO-540-L1B5D (6 cylindres)
- puissance : 1 x 300 ch
- envergure : 7,92 m
- longueur du fuselage : 7,59 m
- masse à vide : 930 kg
- masse maximale : 1 250 kg
- vitesse maximale : 380 km/h
- équipage : 2 pilotes

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis
Cellule	TB30 EPSILON	103	5350	
Moteur	AEIO 540 L1B5D	22852	522	VIM ¹ : 34

¹ VIM = Visite intermédiaire moteur

1.6.1. Maintenance

Le moteur a été posé après révision générale sur l'Epsilon n° 30 le 18 février 2009. L'examen de la documentation technique témoigne d'un entretien conforme aux programmes de maintenance en vigueur :

- VI1² (50H) le 14 mai 2009 à 44 heures de fonctionnement (FH) ;
- le moteur a été prélevé pour l'Epsilon 67 le 16 juin 2009 ;
- VIM (100H) le 29 juillet 2009 à 94 FH ;
- VI1 (50H) le 15 septembre 2009 à 144 FH ;
- VIM (100H) le 13 octobre 2009 à 192 FH ;
- VI1 (50H) le 27 novembre 2009 à 242 FH ;
- VIM (100H) le 22 janvier 2010 à 291 FH ;
- échange standard du cylindre 2 le 05 février 2010 à 299 FH pour fuite d'huile ;
- contrôle technique du cylindre 2 suite à échange standard le 05 mars 2010 324 FH ;
- VI1 (50H) le 01 avril 2010 à 341 FH ;
- VCM³ (400H) le 28 avril 2010 à 391 FH. C'est au cours de cette opération de maintenance que les tuyauteries carburant ont toutes été posées neuves sur ce moteur. Elles ont donc 131 heures de fonctionnement ;
- échange standard du cylindre 2 le 07 mai 2010 à 406 FH pour fuite d'huile ;
- contrôle technique du cylindre 2 suite à échange standard le 02 juin 2010 à 431 FH ;
- le moteur a été prélevé pour l'Epsilon 103 le 24 juin 2010 à 440 FH ;
- VI1 (50H) le 28 juin 2010 à 440 FH ;
- VIM (100H) le 26 juillet 2010 à 487 FH.

1.6.2. Performances

Aucune remarque particulière n'a été relevée dans la documentation et aucun pilote n'a rapporté de commentaires quant au comportement de cet aéronef.

² VI 1 : visite intermédiaire 1

³ VCM : visite complémentaire moteur

1.6.3. Carburant

- type de carburant utilisé : Essence 100-130 / F 18 ;
- quantité de carburant au décollage : 205 litres ;
- quantité de carburant restant au moment de l'événement : 125 litres.

1.6.4. Autres fluides

Les quantités d'huile et de liquide hydraulique sont nominales.

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Les prévisions recueillies par l'équipage auprès de la station météorologique de la base aérienne de Cognac, concernant le trajet de la navigation, font état :

- d'un vent moyen venant du 230° pour une force de 12 kt ;
- d'une visibilité supérieure à 10 km ;
- d'une température de 23 °Celsius, et d'un point de rosée de 19 °Celsius ;
- de nuages épars à 1300 ft et morcelés à 1800 ft ;
- d'un QNH de 1011 hPa.

1.7.2. Observations

Les observations faites par les météorologistes à l'heure du décollage confirment les prévisions et indiquent une tendance à l'amélioration par remontée de la hauteur des nuages.

Cependant localement sur le trajet, des bancs de stratus (nuages bas) sont encore observés.

1.8. Aides à la navigation

L'appareil est équipé d'un VOR et d'un TACAN.

1.9. Télécommunications

L'Epsilon est équipé de moyens radios VHF et UHF permettant le contact avec les organismes du contrôle aérien des régions survolées.

Au moment de l'incident, l'équipage était en contact avec la tour de contrôle de l'aéroport de Cahors sur la fréquence VHF : 119,22 MHz.

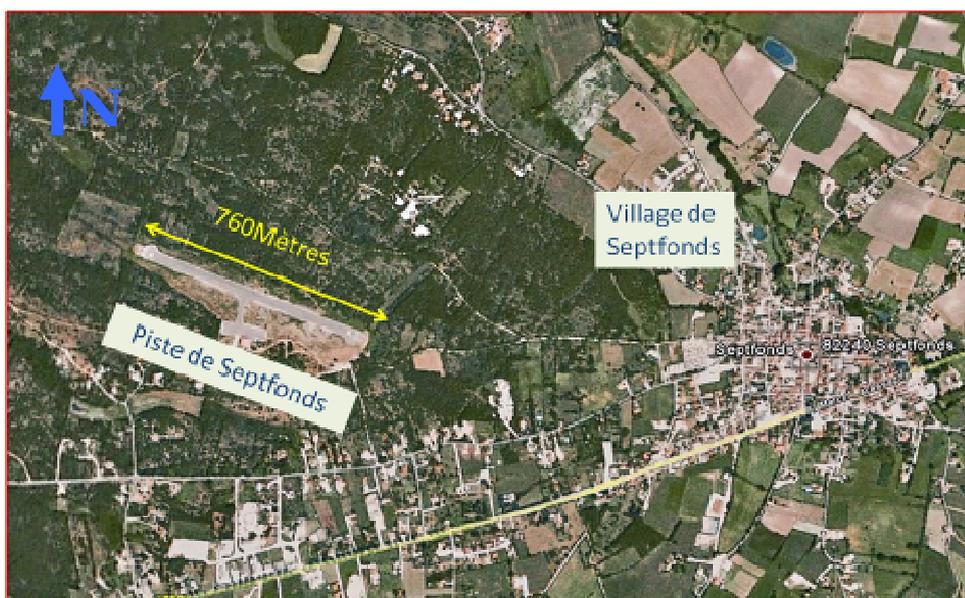
1.10. Renseignements sur l'aérodrome

La piste de Septfonds est une piste privée située à l'ouest du village de Septfonds. Elle apparaît sur la carte de navigation au 1/500000^{ème} dont dispose l'équipage.

Il s'agit d'une piste bitumée d'une longueur de 760 mètres et d'une largeur de 30 mètres.

L'accès à cette piste est soumis à l'accord préalable du propriétaire.

Aucune fréquence particulière n'est éditée dans la documentation officielle concernant cette piste.



Aérodrome de Septfonds

1.11. Enregistreur de bord

L'aéronef est équipé d'un enregistreur de paramètres (FDR⁴) de type « APIBOX ».

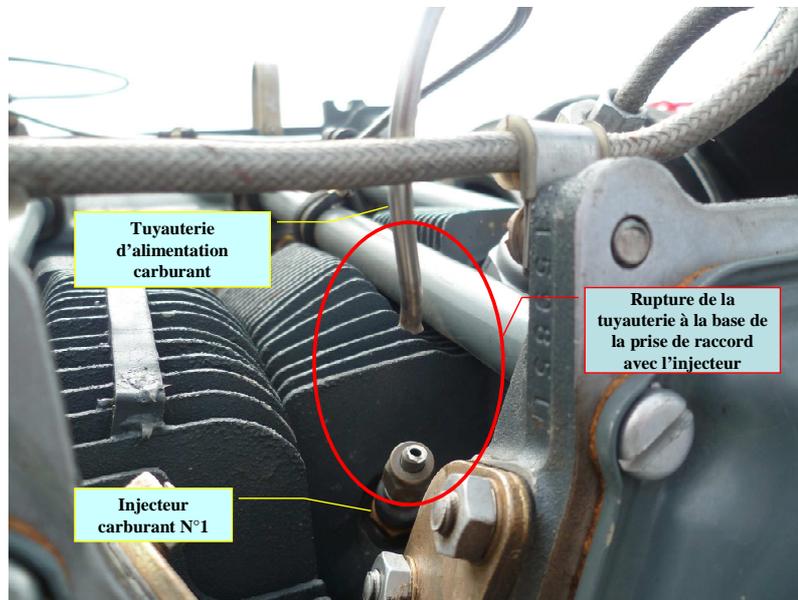
Il a permis une relecture des paramètres de vol et une écoute simultanée des conversations intra-équipage ainsi que des contacts radio entre l'équipage et les organismes du contrôle aérien.

⁴ FDR : *flight data recorder* ; enregistreur de paramètres de vol.

1.12. Constats sur l'aéronef

Les constats faits sur l'aéronef ont mis en évidence la rupture de la tuyauterie d'alimentation en carburant de l'injecteur n° 1.

Aucun autre endommagement n'a été constaté sur le groupe turbo moteur (GTM).



État du moteur à l'ouverture des capots

1.13. Renseignements médicaux et pathologiques

1.13.1. Aptitudes

Les membres d'équipage possèdent les aptitudes médicales relatives au personnel navigant et sont à jour de visites médicales annuelles.

1.13.2. États pathologiques

Aucun des pilotes n'a été blessé au cours de cet incident. Les deux pilotes ont repris les vols après avis médical.

1.14. Incendie

Néant

1.15. Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1. Abandon de bord

Les pilotes ont évacué l'appareil au sol par leurs propres moyens après avoir effectué les procédures d'arrêt d'urgence se rapportant à l'arrêt complet de l'appareil.

1.15.2. Organisation des secours

L'équipage ayant prévenu la tour de contrôle de Cahors de leur intention de se poser sur le terrain de Septfonds, celle-ci a déclenché l'alerte auprès de la gendarmerie et des moyens de secours locaux.

1.16. Essais et recherches

Une expertise des éléments de tuyauteries carburant du moteur a été réalisée par les services de la DGA essais-propulseurs.

1.17. Renseignements sur les organismes

La société ECATS, basée à Cognac depuis avril 2006, filiale d'*EADS Defense&Security*, est titulaire du contrat de mise en œuvre et de maintien en condition opérationnelle des appareils et des simulateurs de vol utilisés par l'EPAA.

La flotte concernée comprend 18 Grob 120, livrés à Cognac en 2007, dont la société est propriétaire et 37 TB 30 Epsilon, avion d'État mis en compte d'emploi auprès de la société.

Le site d'ECATS détient l'agrément DGAC Partie 145 (organisme de maintenance) et Partie 147 (organisme de formation à la maintenance pour le type d'appareil). ECATS effectue notamment les opérations de mise en œuvre des appareils en piste. L'établissement DAHER-SOCATA de Cognac effectue en sous-traitance d'ECATS les opérations de maintenance en base sur ces appareils, notamment celles concernant le moteur. Il détient également l'agrément DGAC Partie 145, dans le cadre duquel une formation au facteur humain est dispensée aux mécaniciens (formation initiale puis biannuelle). Concernant la maintenance : 550 visites ont été réalisées en 2009 (flottes Grob et TB30).

L'EPAA a pour mission notamment la formation de base des élèves-pilotes au sein de deux EIV et la formation des moniteurs au sein du CFIP. Environ 23000 heures de vol ont été effectuées en 2009 (flottes Grob et TB30).

1.18. Renseignements supplémentaires

Néant.

1.19. Techniques spécifiques d'enquête

Néant.

2. ANALYSE

Selon les témoignages de l'équipage, celui-ci a été confronté après 58 minutes de vol en régime constant, sans changement de profil ni demande de puissance ni évolution, et sans signe précurseur à un incident de fonctionnement moteur conduisant à une dégradation des performances qui a contraint l'équipage à un atterrissage d'urgence.

L'analyse qui suit déterminera les causes de cette dégradation soudaine des performances du moteur en s'appuyant sur les expertises et l'étude des antécédents. Enfin, un chapitre sera consacré aux actions de l'équipage et à sa gestion de l'événement.

2.1. Principe du système d'injection carburant

Le moteur *Lycoming* est équipé d'un système d'injection du carburant sous haute pression via des tubulures d'admission et des injecteurs directement dans le cylindre. L'injection permet un dosage plus régulier du carburant et une meilleure répartition entre les cylindres. Le carburant mis sous pression est acheminé par un système de tuyauterie appelé « araignée ». Celle-ci assure le fonctionnement équilibré des six chambres de combustion.

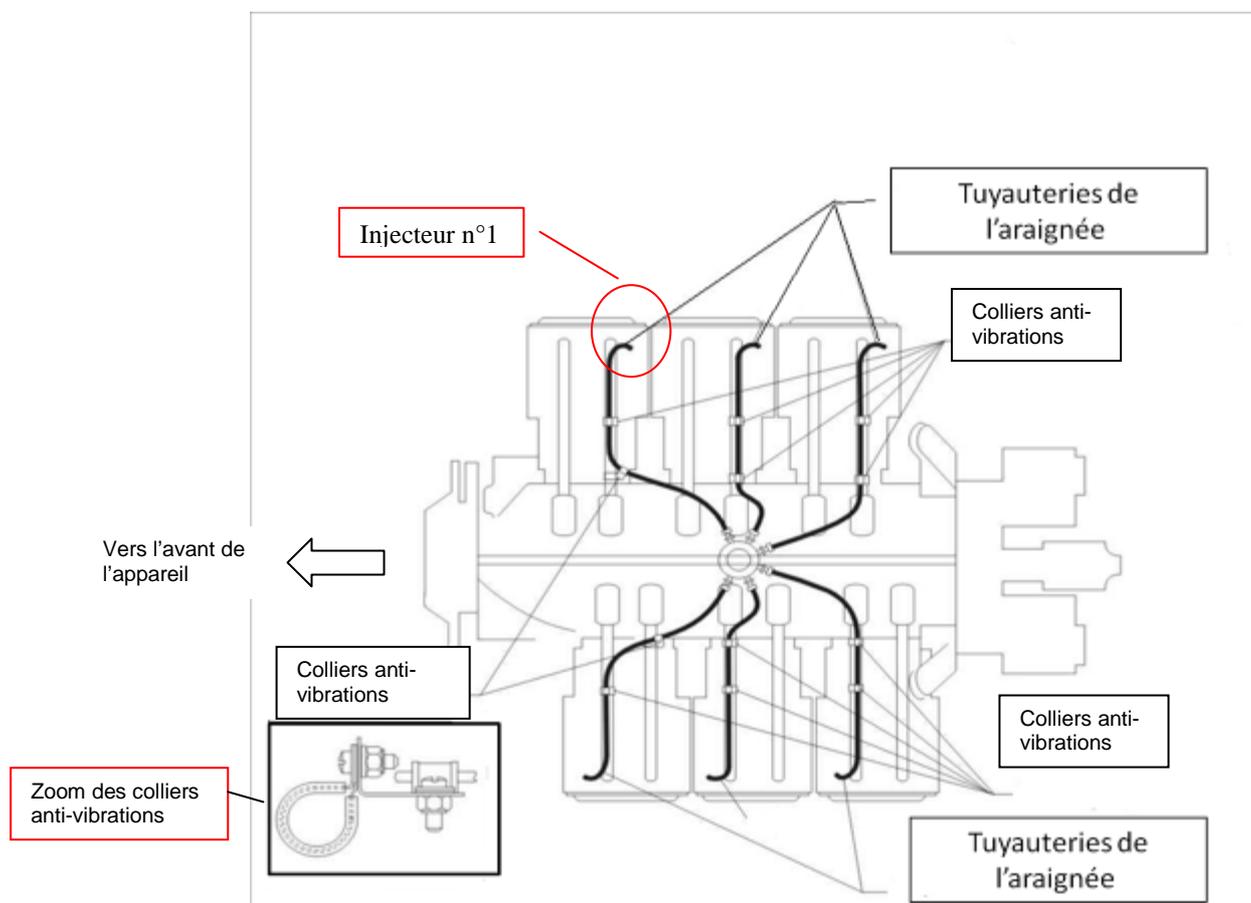


Figure 1: système d'alimentation des injecteurs

2.2. Historique

L'historique de ce type de moteur associé au TB30 met en évidence un nombre substantiel de pannes concernant le système d'injection carburant.

Ces pannes correspondent principalement à l'obstruction des injecteurs carburant.

Certains cas ont conduit à la cassure de la tuyauterie carburant connectée à l'injecteur obstrué.

Deux ruptures de tuyauterie carburant sont recensées dans la base de données VORTEX⁵ au sein de l'armée de l'air avec des symptômes identiques (brutale perte de puissance, vibrations importantes, tous les paramètres normaux, la vitesse maximale obtenue en palier avec la manette de puissance sur plein gaz étant aux alentours de 140 kt) :

- panne au décollage le 07 juillet 1988 ;
- panne en cours de voltige le 13 mars 2003.

Ces cas ont donné lieu à des expertises avec des conclusions identiques : rupture en fatigue d'une tuyauterie carburant.

Le constructeur a déterminé que ces ruptures étaient liées aux vibrations du moteur couplées au choc thermique du refroidissement par air subi par les tubulures.

Six bulletins service (SB) émis par *Lycoming* se sont succédés afin d'améliorer la fiabilité de ce système. Ces SB ont un caractère obligatoire.

Le SB-342-A prend en compte le bouchage des injecteurs et définit les interventions de maintenance périodiques (toutes les 25 heures) à mener dans le but de vérifier l'état des injecteurs.

Les SB-342-B, C, D, apportent des informations et des évolutions concernant les vérifications des injecteurs et le positionnement de colliers amortisseurs sur les tuyauteries afin de lutter contre les effets des vibrations inhérentes au moteur.

Le SB-342-E impose la vérification des tuyauteries toutes les 100 heures avec changement en cas de doute sur la qualité de celles-ci. Il impose également la mise en place d'un nouveau type de collier amortisseur pour ces tuyauteries afin de lutter plus efficacement contre les effets des vibrations du moteur.

Le SB-342-F mis en service le 4 juin 2010 apporte des informations supplémentaires concernant le positionnement des colliers tout en attirant l'attention des opérateurs sur la manipulation de ces tuyauteries afin d'éviter toute mise en contrainte.

2.3. Recherche des causes de la dégradation soudaine des performances du moteur

Les principales causes de perte de performance d'un moteur proviennent soit de l'alimentation électrique soit de l'alimentation en carburant.

En ce qui concerne l'alimentation électrique, les témoignages ainsi que les paramètres enregistrés ne font état d'aucun défaut au cours de ce vol.

En ce qui concerne l'alimentation en carburant, la quantité restante de carburant dans les réservoirs est cohérente avec la consommation spécifique du moteur et aucune anomalie n'est constatée sur le circuit pompe injecteur à l'exception de la tuyauterie de l'injecteur n° 1 qui est retrouvée cassée.

⁵ VORTEX : visualisation objective des retours d'expérience.

L'hypothèse selon laquelle la dégradation soudaine des performances du moteur est liée à la rupture de la tuyauterie d'alimentation en carburant de l'injecteur n°1, est certaine.

L'étude des antécédents montre que ce type de moteur est très sensible au phénomène d'obturation des injecteurs au point d'adapter les opérations de maintenance appliquées par les mécaniciens. L'absence d'alimentation en carburant d'une des chambres d'admission, soit en raison de l'obturation d'un injecteur, soit par la cassure de la canalisation, entraîne un déséquilibre d'alimentation des cylindres et génère de fortes vibrations du moteur, avec pour conséquence une forte diminution du rendement moteur et une chute sensible de la puissance disponible.

2.4. Recherche des causes de la rupture de la tuyauterie

2.4.1. Obstruction des injecteurs

L'inspection des injecteurs, la vérification des filtres et l'analyse du carburant permettent d'affirmer que les injecteurs n'étaient pas obstrués lors de cet événement, alors que, la tuyauterie connectée à l'injecteur n°1 est effectivement rompue.

L'hypothèse selon laquelle l'obstruction d'un injecteur aurait entraîné la rupture de la tuyauterie carburant est rejetée.

2.4.2. Résultats d'expertise de la tuyauterie incriminée

Cette tuyauterie est fabriquée en usine, il s'agit d'un tuyau en acier inoxydable de type « 18/8 » équipé d'une olive de connexion à chaque extrémité. La liaison entre le raccord « olive » et la tuyauterie est réalisée par brasure. Au voisinage de la brasure, on remarque une chute de dureté d'environ 25 % vraisemblablement due à l'échauffement lors de l'opération de brasage.

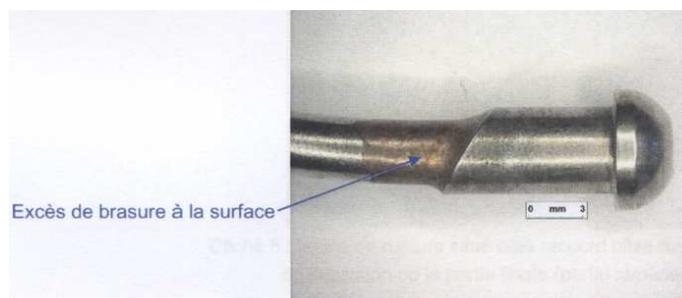


Figure 2 : embout de la tuyauterie

Les tests réalisés sur des tuyauteries neuves ont montré que :

- la brasure liant les tuyaux aux olives présente de petites porosités et quelques manques de pénétration apparaissent sans conséquence sur l'étanchéité de l'ensemble ;
- aucune fissure n'a été observée ;
- des micro-décollements superficiels de la brasure sont observés, mais sans conséquence sur l'étanchéité.

En conclusion, ces tuyaux sont sains et l'étanchéité avec les raccords d'extrémité est assurée.

Les expertises réalisées sur la tuyauterie rompue ont déterminé que :

- la tuyauterie s'est rompue en fatigue vibratoire, amorcée à la surface extérieure de la tuyauterie, au droit du raccord « olive ».
- les examens micrographiques n'indiquent pas d'anomalie ou d'irrégularité à proximité de la zone d'amorçage ou dans la zone de fatigue.
- aucune particularité métallurgique n'est observée au droit de la zone d'amorçage.
- aucune attaque de corrosion n'est observée au droit de la zone d'amorçage.

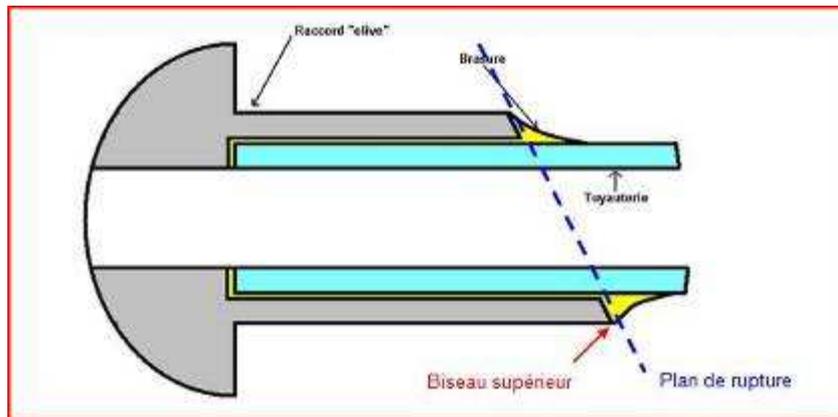


Figure 3 : Schéma de rupture de la tuyauterie

L'endommagement a été causé par une rupture en fatigue amorcée à la surface extérieure de la tuyauterie. Elle s'est propagée par effet de contraintes vibratoires.

**Il s'agit d'une rupture en fatigue de la tuyauterie carburant de l'injecteur n° 1.
L'hypothèse selon laquelle cette tuyauterie ait eu une fragilité liée à la fabrication à l'endroit de la brasure est rejetée.**

2.4.3. Principe d'installation

Les tuyauteries fournies par le motoriste ne sont pas préformées.

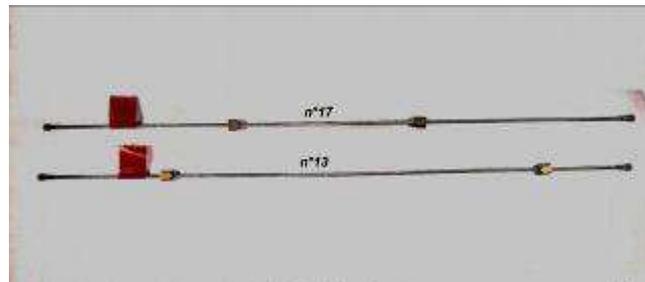


Figure 4 : tuyauteries neuves

Elles sont, en fonction des positions des injecteurs, coudées par les mécaniciens en atelier afin de respecter le plan de cheminement de l'araignée.

Ils utilisent pour se faire des gabarits préétablis qui respectent les rayons de courbures définis par le motoriste.

Les tuyauteries sont ensuite installées sur les moteurs en tenant compte du bulletin service : SB 342 F émis par le constructeur, dernière mise à jour concernant ce type de pièce.

Le protocole en date du 5 mai 2010 recommande que les tuyauteries et les colliers du système d'injection carburant soient inspectés et changés si nécessaire lors des visites de type VCM (400 heures) et VIM (100 heures). Sur ce moteur, elles ont été changées lors de la VCM du 28 avril 2010. Elles ont donc 131 heures de fonctionnement ce qui correspond à une utilisation nominale de ces tuyauteries.

Ainsi que le précise la carte de travail, la pose de ces tuyauteries est délicate car elle requiert une attention particulière lors de la fixation des colliers anti vibration afin d'éviter toute mise en tension inappropriée.

L'écartement observé (environ 5 cm) entre les deux parties cassées de la tuyauterie peut laisser supposer une mise en tension préalable de cette pièce

L'hypothèse selon laquelle le montage de cette tuyauterie a généré une tension qui a favorisé l'amorce de rupture est possible.

2.4.4. Les opérations de maintenance particulières

Certaines opérations de maintenance nécessitent de dévisser les têtes de tuyauteries notamment celles des vérifications des injecteurs sans déposer de la totalité du système. En effet, la connexion de la tuyauterie à l'injecteur se fait par un embout de vissage situé à l'endroit de la brasure. Le vissage et le dévissage de la tuyauterie génèrent une contrainte au niveau de cet embout de vissage / dévissage.

De plus, la vérification des injecteurs nécessite d'écarter la tête de tuyauterie de l'injecteur, cette opération peut entraîner une légère déformation de la tuyauterie génératrice de contraintes qui, répétées, peuvent favoriser le décollement de la brasure et provoquer la rupture. Cette contrainte peut également être générée par un positionnement inadéquat lors du montage de l'ensemble ; l'écartement observé (environ 5 cm) entre les deux parties cassées de la tuyauterie peut laisser supposer une mise en tension préalable de cette pièce.

Dans le cas présent, depuis le changement des tuyauteries, les injecteurs ont été vérifiés à cinq reprises (conformément à la procédure mise en place dans le SB-342-A), il y a donc eu cinq vissages / dévissages, la limite fixée étant de quinze avant changement de la tuyauterie. Les canalisations ont également été vérifiées visuellement sans que cela ne nécessite de changement (pas de bosselures ou d'encoches) comme le recommande le SB 342 F. Il est à noter qu'il n'existe pas d'outil pertinent de vérification de ces tuyauteries permettant de détecter de façon certaine une quelconque amorce de fissure.

L'hypothèse selon laquelle les opérations de maintenance ont pu apporter une contrainte résiduelle sur cette pièce est possible.

2.5. Gestion de l'événement

Alors que l'appareil vole depuis 58 minutes en palier à une altitude de 1600 ft et une vitesse de 185 kt, survient un « raté moteur », suivi par de fortes vibrations.

Les paramètres recueillis par le FDR montrent que le moteur n'a pas eu une perte de puissance détectable, les paramètres moteur apparaissent comme normaux alors que les vibrations ressenties par l'élève pilote semblent fortes. Ces informations recourent les témoignages de l'équipage qui ne détecte aucune perte de puissance sur les « instruments moteur ».

Cependant, même si la perte de puissance n'est pas flagrante sur les instruments, le moteur ne délivre plus que la puissance qui permet de maintenir une vitesse en palier aux alentours des 150 kt avec la manette de puissance sur « plein gaz ».

2.5.1. Actions de l'équipage

L'enregistreur de paramètres a permis de reconstituer la séquence suivante depuis le raté moteur jusqu'à l'arrêt complet de l'appareil :

t ₀		Raté moteur & fortes vibrations.
t ₁	t ₀ + 30 s	Liste de vérification effectuée & mise de cap sur Albi au cap 180°.
t ₂	t ₀ + 2 min	Demi-tour vers Cahors cap 300°.
t ₃	t ₀ + 5 min 30 s	Identification du terrain d'aviation de Septfonds.
t ₄	t ₀ + 6 min 15 s	Les vibrations s'amplifient, la vitesse a chuté à 140 kt plein gaz, décision d'atterrir sur la piste de Septfonds.
t ₅	t ₀ + 6 min 30 s	Prise d'information pour l'atterrissage.
t ₆	t ₀ + 7 min 15 s	Sortie du train.
t ₇	t ₀ + 7 min 25 s	Forte odeur de carburant.
t ₈	t ₀ + 8 min 15 s	Atterrissage.
t ₉	t ₀ + 8 min 24 s	Éclatement des pneumatiques.
t ₁₀	t ₀ + 8 min 33 s	Coupure générale.



Figure 5 : trajectoire de l'épsilon après la constatation de la panne

Dans un premier temps, le moniteur essaie d'analyser la situation, cependant aucun des paramètres affichés sur ses instruments ne lui permet de comprendre le phénomène.

Il choisit alors de se dérouter d'abord vers Albi, puis, tenant compte de sa position et surtout des conditions météorologiques en basse altitude, il modifie sa stratégie et fait demi-tour vers Cahors. Après avoir effectué le virage à droite, le pilote moniteur décide de naviguer en cheminant le long de la route, le temps de réactualiser la navigation. La trajectoire empruntée amène l'aéronef à survoler le village de Septfonds (Tarn et Garonne). Le moniteur identifie le terrain de Septfonds et annonce qu'il est préférable de poursuivre vers Cahors car la piste est trop courte.

La transcription de l'enregistreur permet de constater que les décisions sont prises de façon sereine par le moniteur et les différentes actions sont exécutées sans précipitation : pilotage de l'aéronef, recalage de la navigation vers Cahors, annonce radio vers le contrôle d'aérodrome de Cahors.

Pendant toute cette phase de navigation, l'aéronef est resté en palier à une hauteur de 1500 ft et à une vitesse moyenne de 155 kt.

2.5.2. La décision d'atterrir

La stratégie de l'équipage qui est de rejoindre le terrain de Cahors est bien définie et les pilotes ont tout mis en œuvre pour parvenir à cet objectif.

Cependant, afin de conserver la hauteur de vol, l'appareil est amené à monter de 200 ft à 300 ft sur sa trajectoire vers Cahors. La chute de vitesse consécutive à l'augmentation d'altitude alors que la manette de puissance est en position « plein gaz » oblige le moniteur commandant de bord à reconsidérer son choix car il n'a plus la certitude de conserver suffisamment de puissance pour atteindre l'objectif fixé. Il opte alors pour un atterrissage d'urgence sur le terrain qu'il vient de survoler bien qu'il soit conscient de la courte distance disponible pour l'atterrissage : la distance minimale de piste pour un atterrissage définie par les consignes permanentes de sécurité des vols (CPSV) est de 800 mètres et la piste de Septfonds n'offre que 760 mètres de bande bitumée.

2.5.3. L'atterrissage

L'atterrissage est réalisé par le pilote moniteur après que l'élève ait averti le service du contrôle aérien de leur intention.

Cette opération correspond à la procédure d'atterrissage en campagne.

Le choix du sens d'atterrissage est fait en tenant compte des informations de vent fournies par la tour de contrôle de Cahors.

À la sortie du train une forte odeur de carburant envahit la cabine de pilotage car au moment de la manœuvre du train, un appel d'air fait remonter dans le système de ventilation de l'appareil les odeurs du carburant qui s'est répandu dans le carter moteur, depuis la cassure de la tuyauterie. Le pilote moniteur prend conscience de la gravité de la panne qui le conforte dans sa décision de se poser immédiatement. Il raccourcit la trajectoire en conservant la vitesse acquise dans le but de se poser au plus tôt. Dès le toucher des roues, il applique un freinage maximum.

L'Epsilon n'étant pas équipé de système anti blocage de roues, le freinage maximum entraîne obligatoirement l'éclatement des pneumatiques du train principal. Cependant, l'avion est resté contrôlable et il s'est arrêté quasiment sur l'axe de piste.

L'évacuation au sol s'est faite une fois l'ordre donné par le moniteur, sans précipitation excessive.

La panne est survenue sans élément précurseur alors que l'appareil était en vol à régime stabilisé.

La liste de vérification « vibration moteur » a été effectuée par l'équipage et les procédures ont été appliquées.

La décision de faire demi-tour vers le terrain de Cahors est en cohérence avec les conditions météorologiques.

La décision de se poser sur la piste de Septfonds est liée à l'augmentation des vibrations et à la perte de puissance. La modification du plan d'action (poser d'urgence sur une piste courte) est en cohérence avec l'aggravation des symptômes ressentis. Cette décision a probablement limité les conséquences de l'événement (poser en campagne, incendie...).

L'éclatement des pneumatiques est la conséquence de l'intensité de freinage exercée par le pilote.

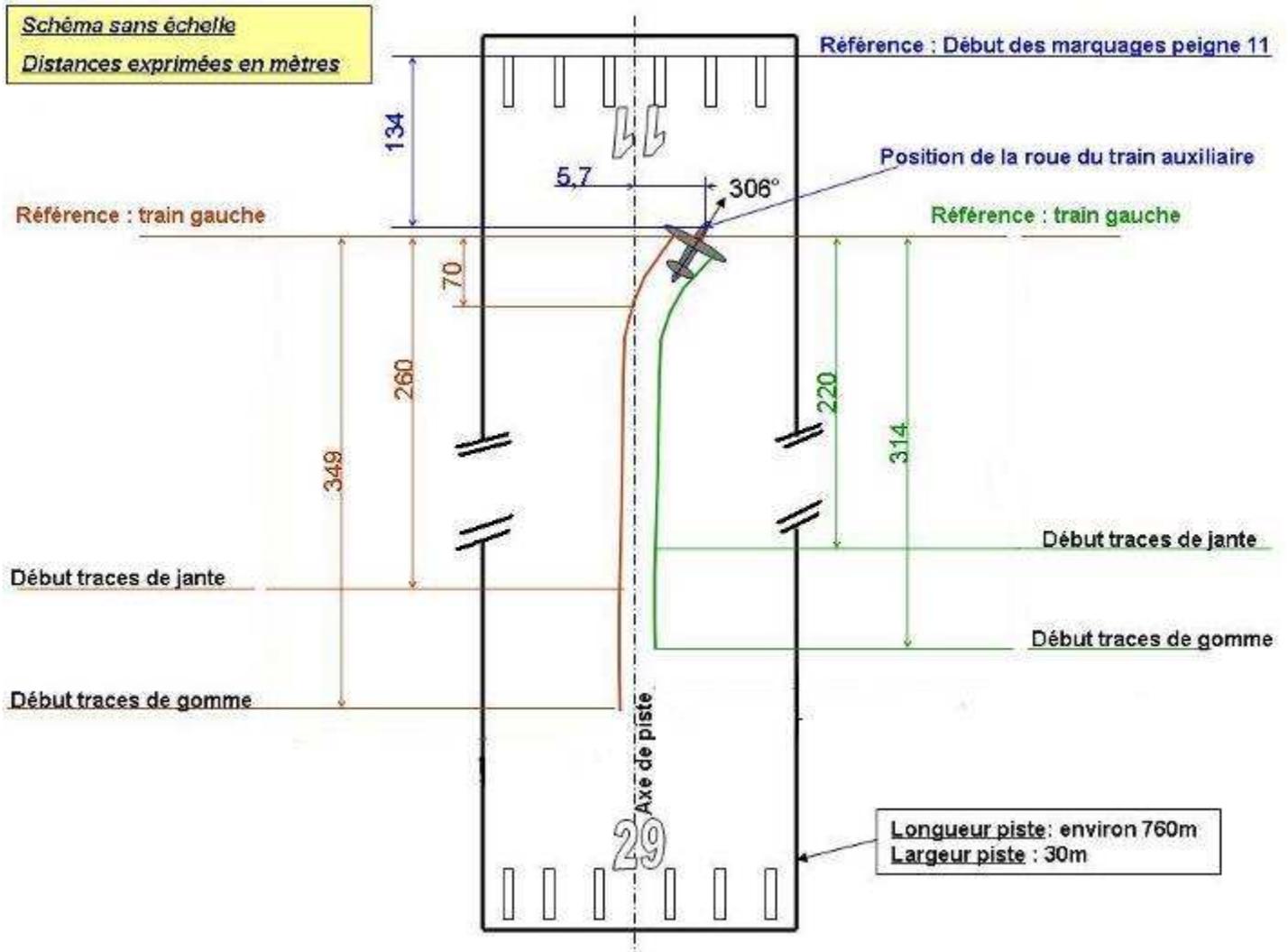


Figure 6 : plan de la phase roulage de l'épave lors de l'atterrissage

3. CONCLUSION

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

Un Epsilon, de l'école de pilotage de l'armée de l'air de Cognac, effectue un vol de navigation basse altitude dans la région de Cahors avec à son bord un pilote moniteur et un élève pilote.

Alors que l'appareil vole en palier à une altitude et une vitesse nominale, il connaît un à-coup du régime moteur, suivi de fortes vibrations et d'une perte de puissance.

Le pilote moniteur décide de se dérouter vers le terrain de Cahors.

En route vers ce terrain, l'appareil survole l'aérodrome de Septfonds que l'équipage identifie.

Le pilote moniteur décide de se poser immédiatement en raison de l'aggravation du phénomène vibratoire associée à une diminution de la vitesse non souhaitée.

Le pilote exécute la procédure d'atterrissage en toute conscience de la longueur de piste disponible.

Dès le toucher des roues, il applique un freinage maximum avec pour conséquence l'éclatement des pneumatiques du train principal.

L'aéronef s'arrête sur la piste à environ 140 mètres du seuil et l'équipage indemne évacue l'appareil.

Une tuyauterie du système d'injection carburant s'est rompue sans aucun phénomène précurseur.

Ce type de tuyauterie a connu par le passé des cas de rupture qui ont conduit le constructeur à étudier ce phénomène et à apporter des améliorations.

3.2. Causes de l'événement

La cassure de la tuyauterie d'alimentation carburant a été causée par une rupture en fatigue, amorcée à la surface extérieure de la tuyauterie, qui s'est propagée par effet de contraintes vibratoires.

Les vibrations du moteur ainsi que les contraintes thermiques subies ont participé à la fragilisation de ces canalisations.

Les contraintes exercées sur ce système au cours des opérations de maintenance ont pu participer à la fragilisation de ces canalisations.

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

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

4.1.1. Études constructeur

Compte tenu des problèmes récurrents rencontrés sur ce type de moteur concernant le système d'alimentation en carburant :

- bouchage des injecteurs, générant des pertes de puissance et des vibrations, impliquant des opérations de maintenance préventives fréquentes ;
- rupture toujours possible des tuyauteries carburant en dépit des améliorations successives (SB 342 A,B,C,D,E,F) ;

et surtout en regard du risque potentiel d'incendie lié à la projection de carburant sur les parties chaudes du moteur ; le bureau enquêtes accidents défense air recommande à :

la DGA en relation avec les industriels concernés de maintenir une veille technologique et de poursuivre les études nécessaires pour prévenir ce type de défaillance du système d'injection carburant.

4.1.2. Maintenance

Les opérations prévues au plan de maintenance en vigueur n'ont pas permis la détection d'une quelconque anomalie sur cette tuyauterie.

Les interventions techniques peuvent participer à la fragilisation de la brasure au niveau de la prise de raccord.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

aux opérateurs de mise en œuvre et de maintenance d'effectuer une large communication de ce rapport pour sensibiliser les personnels à la fragilité du système d'injection carburant et à l'importance des prescriptions du service bulletin en vigueur.

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

Néant.