

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT PUBLIC D'ENQUÊTE TECHNIQUE

BEAD-S-2005-002-A



Date de l'événement : 16 février 2005

Lieu de l'événement : Saint Louis – île de Marie-Galante - Guadeloupe

Appareil :

– **Type :** AS 350 B2 « Ecureuil »
n° 2380

– **Immatriculation :** F-ZBFT

Organisme : Direction de la Défense et
de la Sécurité Civiles

Unité : Base Hélicoptères de
Guadeloupe (Pointe-à-Pitre)

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.

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 exclusive 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.

SYNOPSIS

- Date de l'événement : 16 février 2005 à 09h50¹.
- Lieu de l'événement : Saint Louis – île de Marie-Galante – Guadeloupe.
- Organisme : Direction de la défense et de la Sécurité civiles (DDSC).
- Commandement : Groupement d'hélicoptères de la sécurité civile (GHSC).
- Unité : base d'hélicoptères de Pointe-à-Pitre – Guadeloupe.
- Aéronef : « Écureuil » AS 350 B2 n°2380 F-ZBFT.
- Nature du vol : retour de mission de transport d'autorités.
- Nombre de personnes à bord : deux.

Résumé de l'événement selon les premiers éléments recueillis

L'Écureuil AS 350 B2 n°2380 décolle de l'aire de poser du stade de Saint Louis sur l'île de Marie-Galante après avoir déposé trois passagers, rotor tournant. L'appareil s'élève à la verticale d'une vingtaine de mètres puis débute sa translation. Il part alors en rotation à gauche autour de l'axe de lacet, sans que le pilote puisse le contrôler au palonnier. Après avoir effectué plusieurs tours sur son axe de lacet, il s'écrase sur le toit d'une maison inhabitée. Les deux membres d'équipage sont gravement blessés.

Conséquences

- Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Autres personnes
Mortelles	-	-	-
Graves	2	-	-
Légères	-	-	-
Aucunes	-	-	-

¹ Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heures locales. (Le décalage avec la métropole est de – 5 heures).

➤ Dommages à l'aéronef

Aéronef	Disparu	Détruit	Endommagé	Intègre
-	-	X	-	-

Composition du groupe d'enquête technique

- Un enquêteur technique du bureau enquêtes accidents défense air (BEAD - air), nommé enquêteur désigné, accompagné de deux adjoints,
- un enquêteur de première information (EPI), pilote avion de la direction générale des douanes et des droits indirects (DGDDI),
- un pilote du groupement hélicoptère (GH) de la sécurité civile ayant une expertise sur ce type d'aéronef,
- un mécanicien de la gendarmerie nationale ayant une expertise sur ce type d'aéronef,
- un médecin du personnel navigant de l'armée de l'air.

Déclenchement de l'enquête technique

Le BEAD - air a été prévenu de l'évènement par téléphone le 16 février 2005 à 15h20 (heure de métropole).

Un EPI a été désigné en Guadeloupe et s'est rendu immédiatement sur le site pour les premières constatations.

L'enquêteur désigné, accompagné de deux adjoints, a été projeté sur les lieux le 17 février, rejoint sur place par l'expert pilote, venu également de métropole.

L'expert médecin et l'expert mécanicien ont été désignés localement pour des raisons de proximité.

L'expert mécanicien, appartenant à la gendarmerie, a rejoint le groupe d'enquête le 18 février.

Le soutien du groupe d'enquête a été assuré par le détachement air de Pointe-à-Pitre, et par la base hélicoptères de la sécurité civile de Guadeloupe, localisée sur l'aéroport du Raizet.

Du fait de la dispersion des différents sites (lieu de l'accident, lieu d'hospitalisation de l'équipage, base support du groupe d'enquête), le groupe d'enquête a été scindé dès son arrivée. Les déplacements inter îles ont été assurés par un hélicoptère EC145 de la BHSC² de Guadeloupe.

Le groupe d'enquête a quitté la Guadeloupe le 21 février.

Enquête judiciaire

- Le Parquet de Pointe-à-Pitre s'est saisi de l'affaire.
- Un officier de police judiciaire (OPJ) de la brigade de gendarmerie des transports aériens (BGTA) de l'aéroport de Pointe-à-Pitre le Raizet a été commis.

² BHSC : base hélicoptères de la sécurité civile.

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. DEROULEMENT DU VOL

1.1.1. Contexte de la mission

La mission prévue le 16 février consiste à effectuer un vol de transport d'autorités de la BHSC³ de Pointe-à-Pitre le Raizet vers la ville de Saint-Louis sur l'île de Marie-Galante, en régime CAG-VFR⁴, suivi d'un retour vers la BHSC après avoir déposé les autorités.

L'équipage est composé d'un pilote et d'un mécanicien sauveteur secouriste (MSS).

L'aire d'atterrissage du stade de la ville de Saint-Louis est connue et régulièrement pratiquée par cet équipage.



Itinéraire Pointe-à-Pitre – Saint-Louis

³ BHSC : base sécurité civile.

⁴ CAG-VFR : circulation aérienne générale en situation de vol à vue (*visual flight rules*).

1.1.2. Reconstitution de la partie significative de la trajectoire de vol

Le trajet Pointe-à-Pitre – Saint-Louis n'appelle aucune remarque.

Après avoir déposé les passagers, rotor tournant, le pilote exécute un décollage vertical face au vent (secteur Nord-Ouest pour environ dix nœuds) jusqu'à une hauteur d'environ vingt mètres pour assurer une sécurité par rapport aux obstacles les plus hauts, et amorce ensuite sa prise de vitesse en prenant une assiette à piquer par une action vers l'avant au manche cyclique.

A ce moment, le pilote perçoit des vibrations et le MSS entend un claquement.

L'appareil part alors en rotation vers la gauche autour de l'axe de lacet. Le pilote tente de contrer ce phénomène par une action sur le palonnier à droite, jusqu'à amener ce dernier en butée, sans pouvoir arrêter la rotation.

La rotation en lacet s'accélérait, l'appareil devient incontrôlable et effectue plusieurs tours avant de s'écraser sur le toit d'une maison inhabitée, à une soixantaine de mètres du point de décollage.

Selon le témoignage de l'équipage, une alarme est entendue pendant la rotation, avant l'impact.

A l'impact, la poutre de queue se désolidarise de la cellule et est projetée sur le toit de la maison annexe.

La structure du toit en tôle cède et la cabine pénètre à l'intérieur de la maison. Les pales du rotor principal étant freinées par les tôles, le rotor s'arrête de lui-même.

Le générateur de gaz continue de tourner. Constatant un écoulement d'huile, le MSS tente de couper le moteur à l'aide du coupe feu et de la commande de débit, sans toutefois y parvenir. De ce fait, il décide de couper la batterie.

Le générateur de gaz a alors continué à tourner pendant plusieurs minutes avant de s'arrêter.

Le pilote et le MSS, blessés, sont extraits de la cabine et de la maison par des témoins de l'évènement. Ils sont ensuite pris en charge par les secours.

1.2. RENSEIGNEMENTS SUR LE PERSONNEL

1.2.1. Membres d'équipage

1.2.1.1. Commandant de bord

- Age : 58 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : BHSC de Guadeloupe – Pointe-à-Pitre,
⇒ fonction dans l'unité : chef de base.
- Formation :
⇒ qualification : pilote professionnel hélicoptère.
- Heures de vol comme pilote :

	Sur tous types	Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
		Sur tous types	Sur Écureuil	Sur tous types	Sur Écureuil
Total	6986h06	71h00	55h30	03h12	02h12
Dont nuit	413h12	11h24	09h12	01h00	01h00

⇒ Le pilote avait une quinzaine d'années d'expérience sur Écureuil.

- Date du dernier vol comme pilote sur Écureuil : 30 janvier 2005.

1.2.1.2. Mécanicien navigant sauveteur secouriste

- Age : 55 ans.
- Sexe : masculin.
- Unité d'affectation : BHSC de Guadeloupe – Pointe-à-Pitre,
⇒ fonction dans l'unité : responsable des mécaniciens MSS.
- Formation :
⇒ qualification : mécanicien hélicoptère.

- Heures de vol comme mécanicien sauveteur secouriste :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	Sur tous types	Sur Écureuil	Sur tous types	Sur Écureuil	Sur tous types	Sur Écureuil
Total	6245h00	271h00	68h00	39h00	19h00	19h00
Dont nuit	222h00	36h00	06h00	03h00	03h00	03h00

1.3. RENSEIGNEMENTS SUR L'AERONEF

- Organisme : DDSC.
- Commandement organique d'appartenance : groupement des moyens aériens (GMA) – Groupement hélicoptères de la sécurité civile (GHSC).
- Base de stationnement : base hélicoptères de Guadeloupe – aéroport de Pointe-à-Pitre le Raizet.
- Type d'aéronef : AS 350 B2 « Écureuil »
 - ⇒ configuration : un siège pilote à l'avant droit, doubles commandes gauches démontées, banquette double quatre places à l'arrière,
 - ⇒ équipement : un treuil à gauche, un système de flottabilité.

	Type - série	Numéro	Heures de vol totales	Heures de vol depuis VP ⁵	Heures de vol depuis VI ⁶
Cellule	AS 350 B2	2380	1015h12 depuis EMJ⁷	495h00	95h00
Moteur	ARRIEL 1D1	7043	6624h12		

⁵ VP : visite périodique « T » (pas de 500 heures).

⁶ VI : visite intermédiaire « S » (pas de 100 heures).

⁷ EMJ : visite d'entretien majeur.

1.3.1. Maintenance

- L'entretien et le contrôle de la transmission arrière sont prévus au cours des visites périodiques 500h (visites « T ») et 100h (visites « S »).
- Les visites « T » sont effectuées dans les ateliers du GHSC à Nîmes.
- Les visites « S » sont effectuées par l'unité utilisatrice.
- L'examen du carnet d'entretien et des formules 11 de l'aéronef montre que toutes les opérations prévues au programme recommandé d'entretien (PRE) ont été exécutées.
- **L'écureuil arrivait à 5 heures environ de l'échéance de la prochaine visite « T » et avait effectué 88 heures depuis la dernière visite « S », au cours de laquelle avait été effectué un contrôle de l'état de la transmission arrière.**
- Le contrôle vibratoire de la transmission arrière effectué en Guadeloupe lors du remontage de la poutre de queue n'est pas mentionné dans la documentation de suivi de l'appareil.
- Aucun élément de la transmission arrière n'a été remplacé depuis le montage sur la cellule.
- Les paliers de transmission arrière ont été re-graissés lors de la dernière visite « T ».

1.3.2. Carburant

- Type de carburant utilisé : kérosène F35.
- Quantité de carburant restant au moment de l'événement : environ 60% (320 litres).

1.3.3. Activité de l'appareil dans les 6 derniers mois par type de mission

Type mission	Treuillage ⁸ / Recherche en mer ⁹	Liaison survol maritime ¹⁰	Liaison survol terrestre	Total heures mensuel
Septembre 2004	7,3	18,2	13,5	39,0
Octobre 2004	6,5	33,7	17,5	58,0
Novembre 2004	1,4	52,7	3,9	58,0
Décembre 2004	14,0	13,2	17,0	44,2
Janvier 2005	2,5	16,4	11,8	30,7
Février 2005	1,4	4,3	7,4	13,1
Total / Type mission	33,1	138,5	71,4	243,0

L'activité de recherche en mer, impliquant de nombreuses phases de vol stationnaire, a été nettement plus importante au mois de décembre.

1.4. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Centre d'exploitation météo du Raizet :

- vent direction 340° Nord-Nord-Ouest, force moyenne 6 nœuds, maximale 14 nœuds,
- pression au Raizet : 1011 hPa¹¹, température 25,6°C, humidité relative 75%, pas d'averse sur Marie-Galante.

Observations de l'équipage :

- ciel couvert en transit et sur Marie-Galante, vent de secteur Nord-Ouest d'environ 10 nœuds à l'atterrissage.

⁸ Les missions de treuillage en mer s'effectuent à une hauteur de huit à quinze mètres de la surface.

⁹ Les missions de recherche en mer s'effectuent entre cinquante et cent cinquante mètres de la surface.

¹⁰ Les liaisons maritimes s'effectuent à une altitude d'environ cinq cent à deux mille pieds.

¹¹ hPa : hecto pascal.

1.5. TELECOMMUNICATIONS

Le pilote était en contact radio avec la tour de contrôle du terrain d'aviation de Marie-Galante.

1.6. RENSEIGNEMENTS SUR L'AERODROME

Aérodrome le plus proche du lieu de l'évènement : Grand Bourg les basses, situé à 6 nautiques pour un relèvement de 150° du lieu de l'évènement.

1.7. ENREGISTREURS DE BORD

L'appareil est équipé d'un enregistreur de paramètres de type RECORDER VE « MONIT' AIR » installé dans la soute à bagages arrière gauche. Cet enregistreur est dédié à la maintenance du moteur.

Il enregistre les paramètres suivants à la cadence d'un Hertz :

- couple moteur,
- tours rotor (NR),
- tours générateur de gaz (NG),
- température tuyère (T4).

Ces paramètres sont enregistrés à partir des instruments de bord, et non à partir des capteurs fixés sur les ensembles mécaniques concernés.

1.8. RENSEIGNEMENTS SUR L'EPAVE ET SUR L'IMPACT

1.8.1. Examen du site

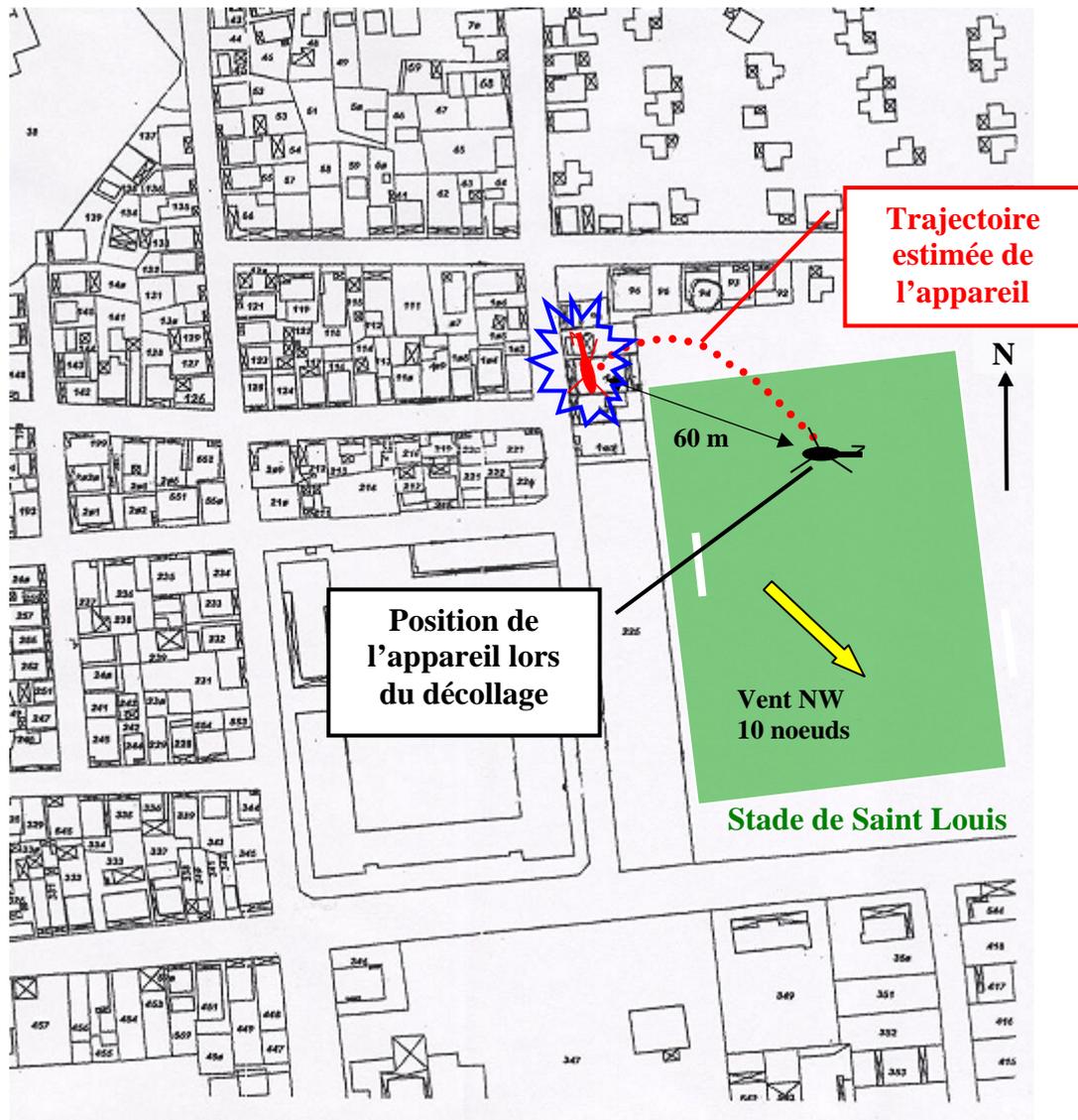
L'accident s'est produit dans une zone urbanisée aux abords immédiats de l'aire de poser du stade de Saint-Louis. L'appareil, en rotation à gauche autour de l'axe de lacet, s'est écrasé sur le toit d'une maison à une soixantaine de mètres du point de décollage.

Le site est circonscrit au point d'impact, dans le volume de la maison.

L'absence de dispersion des débris atteste d'une faible vitesse horizontale à l'impact.

La cabine de l'appareil, orientée secteur Sud au moment de l'impact, a traversé le toit de tôle de la maison et est inclinée vers l'avant à l'intérieur du volume de la maison. Les pales du rotor principal, déformées mais entières, sont en appui sur la structure du toit et sont solidaires du moyeu du rotor.

La poutre de queue est désolidarisée de la cellule à sa base et gît posée sur le toit de la maison annexe (au Nord), toujours reliée à la cellule par des câbles.



Plan général de la zone et trajectoire estimée de l'appareil



Vue générale du site



Vue du point d'impact

1.8.2. Examen de l'épave

➤ **Cellule :**

le poste de pilotage présente un enfoncement du coté avant gauche, tandis que la verrière est absente.

➤ **Cabine :**

la commande de pas général est bloquée en position plein petit pas par la planche de bord déformée lors de l'impact. Les commandes du moteur sont également bloquées.

➤ **Moteur :**

l'examen endoscopique ne révèle aucun dysfonctionnement antérieur à l'évènement.

➤ **Poutre de queue :**

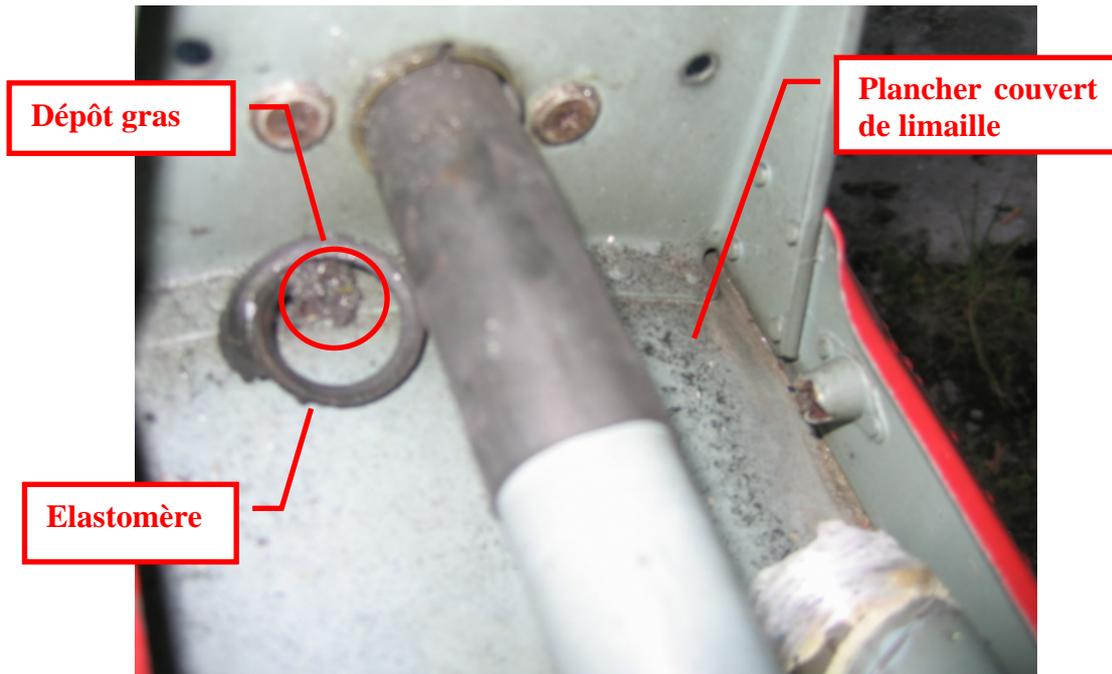
⇒ la poutre de queue est entière. Elle est tordue vers la droite entre les 4^{ème} et 5^{ème} paliers de transmission,

⇒ le rotor anti-couple est resté solidaire de celle-ci. Le capotage recouvrant l'arbre 6000 (arbre court et flectors) présente des lacérations,

⇒ de la limaille est présente sur le plancher de la poutre de chaque côté du support de palier n°4,

⇒ un dépôt gras très localisé est présent sur le plancher de la poutre à l'aplomb du palier n°4,

⇒ un morceau d'élastomère est retrouvé de chaque côté du support du palier n°4.



Limaille, élastomère et dépôt gras à l'aplomb du palier n°4

➤ **Rotor anti-couple (RAC) :**

⇒ l'ensemble mécanique arrière ne présente pas de blocage et les pales du rotor arrière sont intègres.

➤ **Chaîne de transmission de puissance arrière :**

⇒ la transmission arrière a été sectionnée au niveau du palier n°4,

⇒ le support du palier n°5 est fléchi vers l'avant et le roulement, toujours solidaire de l'arbre, est désolidarisé de son support,

⇒ l'arbre 6000 (arbre court) est désolidarisé de l'arbre long au niveau des flectors de liaison qui sont rompus,



Etat de l'arbre de transmission au niveau du palier n° 4
vu vers l'arrière



Etat de l'arbre de transmission au niveau du palier n° 4
vu vers l'avant

1.9. RENSEIGNEMENTS MEDICAUX ET PATHOLOGIQUES

1.9.1. Membres d'équipage de conduite

1.9.1.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical :
 - ⇒ type : CEMPN¹².
 - ⇒ date : 29 décembre 2004.
 - ⇒ résultat : apte.
 - ⇒ validité : six mois.
- Examens biologiques : effectués.
- Blessures :
 - ⇒ traumatisme crânien avec perte de connaissance associée à une amnésie de quelques secondes (2 à 3 secondes) avant l'accident et de quelques minutes après (2 à 3 minutes),
 - ⇒ plaie au cuir chevelu nécessitant une suture,
 - ⇒ plaie cornéenne à l'œil droit,
 - ⇒ douleur à l'épaule droite (dont le bilan radiologique est normal).

1.9.1.2. Mécanicien sauveteur secouriste

- Dernier examen médical :
 - ⇒ type : CEMPN.
 - ⇒ date : 28 janvier 2005.
 - ⇒ résultat : apte.
 - ⇒ validité : six mois.
- Examens biologiques : effectués.
- Blessures :
 - ⇒ fracture de l'arc postérieur des 7^{ème}, 8^{ème} et 9^{ème} côtes droites,
 - ⇒ plaie du coude gauche nécessitant une suture.

¹² CEMPN : centre d'expertises médicales du personnel navigant.

1.10. SURVIE DES OCCUPANTS

1.10.1. Organisation des secours

- L'alerte est déclenchée immédiatement par l'appel d'un particulier au centre de secours (CS) de Marie Galante à Grand Bourg. Le CS est situé à environ 15 km du lieu de l'accident.
- Le centre opérationnel départemental d'incendie et de secours (CODIS) de Guadeloupe est informé quelques minutes plus tard et envoie un hélicoptère de type EC 145 de la sécurité civile vers le CS de Grand Bourg.
- Sur les lieux, des bénévoles, dont une infirmière, extraient les deux membres d'équipage, conscients, de l'aéronef et de la maison, et leur portent assistance.
- Les deux membres d'équipage sont évacués par VSAB¹³ une demi-heure environ après l'évènement vers l'hôpital Sainte-Marie de Grand Bourg, où ils subissent des examens et sont médicalisés.
- Ils sont ensuite transférés par l'hélicoptère envoyé par le CODIS vers le CHU¹⁴ de Pointe-à-Pitre.

1.10.2. Divers

- Aucun signal de détresse n'a été capté.
- La mentonnière du casque pilote n'était pas attachée.

¹³ VSAB : véhicule sanitaire de l'avant blindé.

¹⁴ CHU : centre hospitalier universitaire.

1.11. ESSAIS ET RECHERCHES

- Une endoscopie du moteur a été réalisée sur l'épave afin de rechercher un éventuel dysfonctionnement du groupe turbo moteur (GTM).
- Les paramètres issus de l'enregistreur « MONIT'AIR » ont été exploités en complément de l'endoscopie.
- L'expertise des éléments de la transmission arrière a été demandée au CEPr¹⁵ dans le but de déterminer les causes de sa rupture. Les pièces à expertiser, dont la poutre de queue, placées sous scellés, ont été acheminées en métropole et sont parvenues au CEPr au début du mois d' avril 2005.
- Une expertise complémentaire des lubrifiants retrouvés dans les éléments de transmission arrière a été demandée au laboratoire du service des essences des armées (LSEA) afin de déterminer les propriétés de ces lubrifiants dans les conditions d'utilisation de l'appareil.

¹⁵ CEPr : centre d'essais des propulseurs.

2. RECHERCHE DES CAUSES DE RUPTURE DE L'ARBRE DE TRANSMISSION ARRIERE

Les faits relevés au chapitre premier montrent que la perte de contrôle en lacet de l'appareil après décollage est la conséquence de la rupture de l'arbre de transmission de puissance arrière au niveau du palier n° 4.

Ce point a été identifié dès les premières heures de l'enquête.

Aucune cause reliée à des facteurs environnementaux ou humains n'a été mise en évidence.

L'exploitation des paramètres issus de l'enregistreur « MONIT'AIR » (présentée en annexe 2), effectuée en complément de l'endoscopie du moteur, a permis de valider le fonctionnement normal du GTM durant tout le vol.

L'analyse qui va suivre déterminera le processus de rupture de l'arbre de cet élément mécanique en s'appuyant sur les résultats des expertises des éléments de la transmission de puissance arrière et les lubrifiants, ainsi que sur la maintenance effectuée.

2.1. CONCLUSION DES EXPERTISES REALISEES AU CEPR

Les expertises ont été menées sur la poutre de queue et les éléments composant la transmission arrière, ainsi que sur les lubrifiants des différents composants, afin de déterminer les causes de la rupture de l'arbre de transmission arrière.

Parmi les observations effectuées, on retient que :

- l'arbre de transmission arrière a été usé par frottement en rotation dans l'alésage de la bague de roulement, puis s'est rompu au droit de la face arrière du roulement,
- le roulement a été retrouvé exempt de lubrifiant et corrodé sur la bague intérieure et la cage. Il a subi un échauffement important provoqué par la friction de l'arbre de transmission dans l'alésage de la bague intérieure, après destruction du manchon élastomère,

- la graisse contenue dans les roulements 1, 2, 3 et 5, ainsi que dans le dépôt récupéré au pied du palier n°4 est constituée d'un mélange de deux graisses : l'une correspondant à la référence G 395, l'autre correspondant à la référence G 354.

Conclusion :

- **La rupture de l'arbre de transmission arrière est consécutive à son usure par frottement sur la bague intérieure du roulement du palier n°4, suite au blocage du roulement et après destruction du manchon élastomère.**
- **Le blocage du roulement n°4, à l'origine de l'abrasion de l'arbre, a été causé par la rupture progressive de sa cage vraisemblablement en fatigue jusqu'à l'interférence d'un fragment dans la cinématique de l'ensemble roulant.**
- **La rupture de la cage de roulement n°4 serait donc le fait initial de la séquence de destruction.**
- **Les éléments suivants ont pu influencer conjointement pour conduire à la destruction de la cage :**
 - ⇒ **un phénomène de déversement¹⁶ constaté sur la bague extérieure des roulements 1, 3 et 4,**
 - ⇒ **le manque possible de lubrification**
 - ⇒ **la présence d'un mélange de deux graisses dont l'une, d'emploi plus limité en température, n'est pas prévue à cet effet,**
 - ⇒ **l'environnement plus chaud du palier n°4,**
 - ⇒ **le vieillissement constaté des manchons élastomères, qui conduit à une rétractation du matériau et donc à un serrage moindre dans l'assemblage.**
- **La corrosion observée sur le roulement est davantage la conséquence de l'échauffement provoqué par le frottement du roulement bloqué sur l'arbre et l'abrasion de ce dernier, que des conditions d'exploitation de l'appareil.**

¹⁶ Désalignement des bagues intérieure et extérieure par rapport à l'axe de fonctionnement du roulement.

2.2. CAUSES DE LA RUPTURE DE LA CAGE DU ROULEMENT

N°4

- Les expertises menées au CEPr permettent d'écarter un éventuel défaut de fabrication ou une charge anormale extérieure subie par le roulement en exploitation.
- Les déversements constatés sur les roulements 1, 3, et 4 induisent une légère surcharge à l'intérieur de ceux-ci, mais les roulements 1 et 3 étaient intacts. De plus, ce phénomène a été également constaté sur un roulement intact provenant d'un autre appareil. Ce phénomène n'est donc pas déterminant.
- Le vieillissement des manchons élastomères, conduisant à un serrage moindre dans l'assemblage, peut induire un moindre filtrage des vibrations, mais n'a pas entraîné de glissement des manchons significatif sur les autres paliers.
- L'environnement plus chaud du palier n°4, du à la proximité de la tuyère, peut avoir une influence sur son fonctionnement, et notamment sur la tenue du lubrifiant.
- **L'option d'un défaut de lubrification est envisagée, d'autant que le roulement n°5 ne contenait qu'une très faible quantité de graisse en comparaison des roulements 1, 2 et 3 et qu'un type de graisse non préconisé a été retrouvé dans les roulements.**

Une expertise a donc été demandée au laboratoire du service des essences des armées (LSEA) afin de déterminer les propriétés du mélange des graisses retrouvé dans les roulements, et son éventuelle implication dans le processus d'endommagement de la cage du roulement n°4.

Parallèlement, une revue des opérations de maintenance effectuées a été menée afin de déterminer l'origine du mélange de lubrifiants.

2.2.1. Conclusion des analyses effectuées par le LSEA

Le LSEA a effectué l'analyse du mélange de graisses, un essai d'endurance sur roulement, et testé la compatibilité de la graisse G 354 avec le manchon élastomère.

Il est observé que le mélange est composé d'une graisse de type G 395, identique à celle contenue dans un roulement neuf (différente de la graisse G 395 approvisionnée par le SEA), ainsi que d'une graisse G 354.

Le mélange récupéré au bas du palier n°4 est composé d'environ 75% de G 354 dans de la graisse de composition comparable à celle contenue dans un roulement neuf.

Conclusion :

- Les graisses G 354 et G 395 sont miscibles. Le mélange a un comportement intermédiaire des propriétés initiales de chacune des graisses.
- La graisse G 354 présente une endurance nettement inférieure à 500 heures dès 121 °C¹⁷ (237 heures dont 72 heures à température ambiante).
- L'emploi de ce type de graisse impose un graissage fréquent du roulement dès que la température s'élève et approche les 121 °C. Elle est inadaptée pour un emploi au-delà de ces conditions.
- Le mélange retrouvé au pied du roulement n°4 et provenant de celui-ci était le plus concentré en G 354, cas le plus défavorable.
- La G 354 dégrade le manchon élastomère dans les conditions du test (plus sévères qu'en utilisation normale, où le manchon n'est pas totalement imprégné de graisse).

¹⁷ Conditions du test d'endurance.

2.2.2. Conclusion partielle

L'utilisation d'un lubrifiant non prévu et de caractéristiques d'emploi plus limitées en température, associées aux conditions thermiques plus contraignantes subies par le palier n°4, a joué dans le processus de dégradation de la cage du roulement ayant conduit à son blocage.

2.2.3. Maintenance effectuée

2.2.3.1. Au sein du GHSC

Les roulements, ont tous été graissés lors de la visite 500 heures comme prévu au PRE.

Selon les témoignages recueillis et l'étude de la documentation de suivi technique, il s'agit du seul re-graissage effectué depuis l'installation de ces roulements sur l'appareil.

La graisse G 354, normalement dédiée au graissage du plateau cyclique, a donc été utilisée à cette occasion. L'introduction de cette graisse lors de cette opération a ainsi constitué le mélange G 354 + G 395 retrouvé dans les roulements et au pied du palier n°4.

➤ *Graissage des roulements de transmission arrière*

⇒ Cette opération est effectuée à l'aide d'un outil dédié (seringue avec embout), et consiste à injecter une quantité de graisse dans les roulements au travers des flasques d'étanchéité, jusqu'à ce que le trop-plein ressorte.

⇒ Un point fixe est effectué à l'issue de la visite 500 heures. Des projections importantes de graisse provenant de chaque roulement sont alors constatées. Elles sont nettoyées avant de remettre les capotages en place.

- ⇒ Il est donc possible de vérifier que tous les roulements ont été graissés au vu de la graisse éjectée mais il est en revanche impossible de contrôler la qualité et la quantité de graisse restante à l'intérieur de chaque roulement.
- ⇒ Aucune anomalie n'a par ailleurs été signalée lors du contrôle des opérations.

Il n'est pas possible de déceler l'emploi de la graisse G 354 dans ces roulements lors des contrôles à posteriori.

➤ *Emploi de la graisse G 354 en lieu et place de la G 395 lors de l'opération de graissage des roulements de transmission arrière*

Ce raté d'exécution a pu trouver son origine dans :

- ⇒ la lecture de la carte de travail, commune aux opérations de graissage des roulements de transmission arrière et du plateau cyclique,
- ⇒ la similitude des conditionnements des deux graisses (néanmoins référencés différemment sur leur étiquette),
- ⇒ l'absence de discrimination des caractéristiques physiques des deux graisses lors de leur manipulation, du fait de la faible fréquence d'emploi de la G 395 sur Écureuil.

2.2.3.2. Au sein de la base de Guadeloupe

- Les opérations de vérification effectuées par la base de Guadeloupe et conformément aux prescriptions du PRE n'ont révélé aucun des signaux décrits dans la carte de travail¹⁸ et nécessitant un remplacement ou un graissage du roulement incriminé.
- L'évènement étant intervenu 88 heures après le dernier contrôle et le processus de dégradation du roulement n°4 ayant pu se dérouler, à l'observation de l'état des fractures de la cage et selon le constructeur, en quelques dizaines d'heures, **les éventuels signes visibles de ce processus n'ont pu être observés.**

¹⁸ CT 65 10 00 601 § 2.2.2 relatif à l'inspection visuelle des roulements de transmission arrière (perte de graisse, coulure de rouille, traces d'échauffement, état des flasques d'étanchéité).

2.2.3.3. Conclusion sur la maintenance effectuée par l'exploitant

La graisse G354 a été introduite dans tous les roulements de transmission arrière à l'occasion de la visite « T » 500 heures. Ce raté d'exécution n'a pu être décelé lors du contrôle des opérations.

Les vérifications périodiques de la transmission arrière, espacées de 100 heures, n'ont révélé aucun indice de dégradation du roulement n°4, dont le processus a pu s'inscrire dans l'intervalle de 88 heures entre le dernier contrôle et l'évènement.

2.2.4. Utilisation de l'appareil

- Au mois de décembre, l'activité de recherche en mer a été nettement plus soutenue que d'habitude, impliquant de nombreuses phases de stationnaire près de la surface maritime, et sollicitant particulièrement la transmission arrière **après la date du dernier contrôle.**
- Lors du vol stationnaire, une puissance supérieure est absorbée par la transmission arrière, ce qui a pour conséquence un échauffement de l'ensemble, dont en particulier le palier n°4.

Les missions effectuées après le dernier contrôle ont sollicité en température la transmission arrière de manière plus contraignante, dont en particulier le palier n°4.

2.2.5. Conclusion sur les causes de la rupture de la cage du roulement n°4

- Les expertises du LSEA ont montré que la graisse G 354 présente une endurance nettement inférieure à 500 heures dans des conditions de température de fonctionnement élevées et impose un graissage plus fréquent du roulement.
- Le palier n°4, est situé dans un environnement thermique plus contraignant que les autres paliers,
- L'activité de l'appareil suivant la date de la dernière vérification a davantage sollicité la transmission arrière et a certainement accéléré la dégradation de la cage du roulement incriminé.
- Dans ces conditions, l'absence de re-graissage du roulement a entraîné la disparition du film de lubrifiant, et la rupture progressive en fatigue de la cage sous faible contrainte.
- Les opérations d'entretien et de contrôle, toutes effectuées, n'ont pas permis de déceler l'amorce du processus de dégradation du roulement n°4, qui a pu s'inscrire dans l'intervalle de temps suivant la dernière vérification.
- L'emploi de cette graisse non préconisée dans les roulements de transmission arrière de l'appareil utilisé dans les conditions évoquées supra constitue donc un élément déterminant dans le processus de dégradation du roulement.

En conséquence, le défaut de lubrification est retenu.

3. CONCLUSION

3.1. ELEMENTS ETABLIS PAR L'ENQUETE

3.1.1. Entretien de l'appareil

- Toutes les opérations d'entretien programmé prévues au PRE ont été exécutées,
- le graissage des roulements est prévu toutes les 500 heures,
- les roulements de transmission arrière ont tous été graissés lors de la visite 500 heures après leur montage sur l'appareil,
- les contrôles intermédiaires de la transmission arrière, sans graissage des roulements, sont espacés de 100 heures,
- l'événement s'est produit 88 heures après le dernier contrôle et 495 heures après le graissage des roulements,
- une graisse non préconisée, référencée G 354, a été employée lors du graissage des roulements,
- la graisse G 354, destinée à l'entretien du plateau cyclique, présente des caractéristiques d'endurance en température plus limitées que la graisse G 395 prévue pour cette opération,
- la dernière vérification effectuée sur la transmission arrière n'a pas révélé d'anomalie.

3.1.2. Particularité du palier n°4

Le palier n°4 subit une température ambiante plus élevée en fonctionnement à cause de la proximité de la tuyère.

3.1.3. Utilisation de l'aéronef

Les missions effectuées après le dernier contrôle ont sollicité la transmission arrière, et en particulier les paliers de manière plus contraignante.

3.2. CAUSES DE L'EVENEMENT

- La perte de contrôle en lacet de l'appareil après décollage est la conséquence de la rupture de l'arbre de transmission de puissance arrière au niveau du palier n° 4.
- La rupture de l'arbre de transmission arrière est la conséquence de la défaillance du palier n°4, dont le blocage a conduit à l'abrasion du matériau de l'arbre.
- Le processus de détérioration interne du roulement incriminé, se traduisant par une rupture en fatigue de sa cage dont un fragment a bloqué l'ensemble roulant, s'est certainement inscrit, en quelques dizaines d'heures, dans l'intervalle de temps suivant la dernière vérification de la transmission arrière et n'a ainsi pu être décelé.
- L'emploi, lors des opérations périodiques d'entretien, d'une graisse non prévue et aux caractéristiques d'endurance plus limitées, associé aux conditions d'emploi de l'appareil, constitue le facteur déterminant de l'événement.

La détérioration du palier n°4, à l'origine de l'évènement, résulte de la combinaison de facteurs liés :

- **à l'emploi d'un lubrifiant aux caractéristiques d'endurance plus limitées lors des opérations d'entretien, ce qui constitue le facteur déterminant,**
- **aux opérations de contrôle qui n'ont pas permis de déceler le processus de dégradation du roulement n°4, lequel a pu toutefois s'inscrire dans l'intervalle de temps suivant la dernière vérification,**
- **à la particularité du palier n°4,**
- **aux conditions d'emploi de l'aéronef.**

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

4.1. RECOMMANDATIONS AYANT TRAIT A L'EVENEMENT

4.1.1. Confusion dans l'emploi des lubrifiants lors du graissage des roulements de transmission arrière

Cet événement démontre que les opérations d'entretien techniques d'un aéronef ne peuvent souffrir d'un quelconque raté d'exécution.

Si l'exécution des opérations est soigneusement contrôlée, il est impossible dans le cas du graissage des roulements de transmission arrière de déceler, lors du contrôle à posteriori des opérations, l'emploi d'une graisse non préconisée telle la G 354 en lieu et place de la G 395.

La carte de travail *ad-hoc*, est commune aux opérations de graissage du roulement du plateau cyclique et des roulements de transmission arrière (les deux graisses y sont mentionnées avec leur destination au même chapitre des ingrédients nécessaires, la graisse G 354 en première référence).

Les lots de ces graisses présentant désormais des conditionnements différents, le risque de confusion à ce niveau est minimisé.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

- **que chaque opération d'entretien fasse l'objet d'une présentation distincte dans les cartes de travail,**
- **un renforcement des contrôles au sein des organismes d'entretien.**

4.1.2. Contrôle à posteriori du graissage des roulements de transmission arrière.

Lors du point fixe effectué à la fin de la visite « T », la graisse évacuée par les roulements est systématiquement nettoyée.

A cette occasion, il serait possible de déceler une anomalie dans les projections de graisse, ou tout au moins leur éventuelle absence, conduisant dans ce cas à un re-graissage supplémentaire ou à un contrôle plus approfondi.

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

l'observation visuelle des projections de graisse lors du point fixe suivant la visite « T » soit formalisée et conduite à une vérification ou à un re-graissage supplémentaire en cas d'anomalie.

4.1.3. Suivi des opérations techniques

L'opération d'équilibrage de la transmission arrière exécutée après remontage de la poutre de queue lors du retour de l'appareil en Guadeloupe n'a pas été mentionnée dans la documentation technique de l'appareil.

Des témoignages ont attesté que cette opération avait bien été effectuée.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air rappelle que :

toute intervention technique, ainsi que le contrôle de cette intervention doivent être mentionnés dans la documentation de suivi technique de l'aéronef.

4.1.4. Pertinence de l'intervalle de contrôle de la transmission arrière.

Selon le PRE du constructeur, la périodicité des contrôles visuels (visites « S ») est de 100 heures, avec un graissage des roulements toutes les 500 heures (visites « T »).

Le processus de dégradation du roulement n°4 s'est certainement déroulé en quelques dizaines d'heures et a ainsi pu passer inaperçu au dernier contrôle.

L'étude des programmes de maintenance des différents utilisateurs institutionnels de ce type d'appareil montre que ceux-ci ont adopté – selon leur expérience - un pas de contrôle de la transmission arrière plus restrictif : l'armée de l'air et l'ALAT¹⁹ chaque jour après le dernier vol, toutes les 25 heures ou un mois pour la gendarmerie et les douanes. La gendarmerie effectue un re-graissage systématique des roulements toutes les 250 heures.

Selon l'avis des personnels techniques de l'unité de gendarmerie, co-localisée avec la base de la sécurité civile sur l'aéroport du Raizet, et dont les missions présentent des aspects communs avec celles de la sécurité civile, un contrôle visuel espacé de 100 heures apparaît hasardeux, compte tenu de l'éventualité de dégradation d'un palier (fuite de lubrifiant, dégradation du manchon élastomère) et de la rapidité de la corrosion sous ce climat. Par ailleurs, cette opération, aisée à réaliser, n'obère pas la disponibilité de l'aéronef.

Ainsi, les exploitants institutionnels, forts de leur expérience, ont adopté des intervalles de contrôle (type visites « S ») de la transmission arrière beaucoup plus restrictifs que ceux définis dans le PRE (4 fois plus court pour 25 heures), assurant un fonctionnement optimal du parc et de bonnes statistiques de fiabilité.

Enfin, la base de Guadeloupe est la seule base de la sécurité civile hors de métropole et a été mise en place en 2002. L'expérience de l'exploitant sous ce climat est donc récente.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

- **au constructeur de mener une réflexion sur la périodicité du graissage et du contrôle des paliers de transmission arrière, notamment au regard des pratiques constatées chez les autres exploitants.**
- **à la sécurité civile, de se rapprocher des autres exploitants institutionnels afin de tirer parti de leur expérience, en particulier, sous climat tropical.**

¹⁹ Aviation légère de l'armée de terre

4.1.5. Cas des manchons élastomères

Des cas de rotation de manchons élastomères sur l'arbre de transmission arrière ont été observés, entraînant un échauffement et une dégradation de la peinture de protection.

Le constructeur a émis des recommandations (lettre service de septembre 2002, telex information de juin 2005) concernant ces manchons, soulignant la nécessité d'une surveillance particulière du comportement de ces éléments, prévu lors des visites type « S ».

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

le constructeur mène une réflexion sur la tenue des manchons élastomères.

4.2. RECOMMANDATIONS N'AYANT PAS TRAIT DIRECTEMENT A L'EVENEMENT

4.2.1. Equipement de graissage des roulements de transmission arrière

Il a été constaté, lors de l'enquête, que la base de Guadeloupe ne disposait pas de l'outillage nécessaire au graissage des roulements, bien que celui-ci soit prévu en dotation par la gestion des équipements au GHSC.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

d'assurer un contrôle effectif de la dotation des bases en matériels et ingrédients destinés à l'entretien des aéronefs.

4.2.2. Port des équipements de vol

L'événement démontre le caractère indispensable du port des équipements prévus, et en particulier du casque.

Les blessures subies par le pilote à la tête sont, en partie, dues au fait que la mentonnière de son casque n'était pas attachée, et que celui-ci a été arraché à l'impact.

En conséquence, le bureau enquêtes accidents défense air recommande :

de rappeler aux personnels navigants les consignes d'emploi des équipements de vol.

Page intentionnellement blanche

Bureau enquêtes accidents défense air

RAPPORT FINAL D'ENQUÊTE TECHNIQUE

BEAD-S-2005-002-A



ANNEXES

ANNEXE 1

1.1. DESCRIPTION DE LA TRANSMISSION ARRIERE SUR ECUREUIL

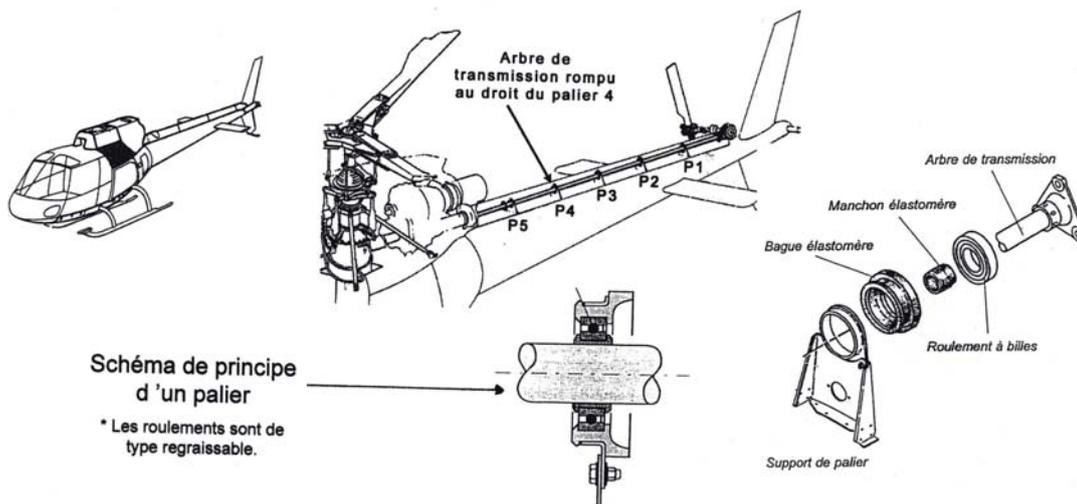
L'arbre de transmission arrière, en alliage d'aluminium, est raccordé à l'arbre avant en acier (ou arbre 6000) et à la BTA par des accouplements souples de type flectors. La vitesse de rotation de cet arbre est de 6125 tours / minute.

L'arbre de transmission arrière est supporté sur la poutre de queue par cinq paliers repérés de 1 à 5 à partir de la BTA.

Ces paliers sont équipés de roulements à billes regraisables. Ces roulements sont montés sur les supports de paliers par l'intermédiaire d'une bague en élastomère, afin d'amortir les vibrations de l'ensemble.

Un manchon élastomère, non fixé, assure la liaison du roulement avec l'arbre de transmission.

1.2. SCHEMA DE PRINCIPE



ANNEXE 2

1.1. EXPLOITATION DES PARAMETRES DE L'ENREGISTREUR « MONIT'AIR »

➤ Décollage, transit et atterrissage

Cette phase dure quinze minutes trente. Les paramètres évoluent en cohérence entre eux et en concordance avec les actions aux commandes.

➤ Attente au sol et décollage

Cette phase dure une minute vingt secondes. Une fois l'hélicoptère posé, la commande de pas général est baissée et la manette de débit mise en position correspondant au « ralenti sol ». Tous les paramètres évoluent à la baisse et se stabilisent, sans à-coup.

➤ Décollage et évènement

La manette de débit est replacée sur le cran « vol ». Tous les paramètres évoluent à la hausse puis se stabilisent. Un à-coup de 8% d'amplitude au couple est visible 25 secondes environ après l'action à la manette de débit. Ce même à-coup est observé sur les autres paramètres, traduisant l'action du régulateur.

Quarante-trois secondes après avoir placé la manette de débit sur le cran « vol », le pilote actionne progressivement la commande de pas et effectue le décollage.

Dix secondes après l'action sur la commande de pas, le couple atteint 81% et baisse brutalement.

Les tours du générateur de gaz (NG) diminuent, ainsi que la température tuyère (T4), traduisant une action à la baisse sur la commande de pas.

Les tours rotors augmentent légèrement.

Cette évolution des paramètres de couple et tours rotor traduit la rupture de l'arbre de transmission arrière.

Sept secondes après cette rupture, les valeurs du couple, de la T4 et de NG marquent un à-coup à la hausse puis chutent brutalement, à l'exception de NG qui baisse puis se stabilise vers sa valeur de ralenti vol durant près de deux minutes avant de chuter brutalement.

Dans le même temps, les tours rotor chutent vers zéro, traduisant ainsi l'instant de l'impact et le freinage des pales sur la structure du toit de la maison puis l'arrêt du rotor.

➤ **Conclusion de l'exploitation des paramètres du « MONIT'AIR »**

L'exploitation des paramètres permet d'écarter toute implication du GTM dans l'évènement. Aucune évolution anormale des paramètres de couple et de tours rotor ne permet de traduire une anomalie dans la cinématique de l'arbre de transmission arrière.

L'arbre de transmission de puissance arrière s'est rompu dix secondes après la demande progressive de puissance lors du décollage, dès que la valeur du couple a atteint 88%.

La perte de contrôle en lacet est survenue consécutivement à cette rupture.

Le pilote a aussitôt réagi aux palonniers et sur la commande de pas, mais n'a pu empêcher la rotation en lacet vers la gauche de l'appareil.

L'appareil en perdition s'est écrasé sept secondes après la rupture de l'arbre de transmission arrière.